

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET  
Studij geologije

**OPĆI MODEL ZA IZRAČUN GEOLOŠKE VJEROJATNOSTI NOVIH OTKRIĆA  
PLINA U SJEVERNOM JADRANU UZ PRIMJER PLINSKOG POLJA IKA**

Diplomski rad

Mate Režić

G 173

Zagreb, 2016.

## OPĆI MODEL ZA IZRAČUN GEOLOŠKE VJEROJATNOSTI NOVIH OTKRIĆA PLINA U SJEVERNOM JADRANU UZ PRIMJER PLINSKOG POLJA IKA

Mate Režić

Diplomski rad je izrađen na: Sveučilište u Zagrebu  
Rudarsko geološko naftnom fakultetu  
Zavod za geologiju i geološko inženjerstvo  
Pierottijeva 6, 10000 Zagreb

**Sažetak:** Plinsko polje Ika je jedino polje u Jadranu gdje je plin nakupljen i u karbonatima. Do danas na tom području izrađene su dvije proizvodne platforme Ika A i Ika B te 5 bušotina iz kojih se pridobiva plin. Razradba plinskog polja Ika započela je 2004. godine i moguća je rentabilna eksploatacija. Polje sadrži četiri ležišta, od kojih se najdublje nalazi u karbonatima. Najdublje ležište uvjetovano je tektonsko - erozijskom diskordancijom koja se nalazi na dodiru mezozojskih stijena s pliocenskim taložinama, a plin je nakupljen ispod te diskordancije. Radi se o „buried hill“ strukturi koja je podjeljena u tri strukturna uzvišenja. Ostala tri plića ležišta izgrađena su od pleistocenskih rahlih pijesaka. Cilj ovoga rada bila je procjena vjerojatnosti uspjeha „POS“ (engl. *Probability of Success*) pronalaska novih otkrića plina unutar rubnog područja spomenutog polja, tj. u mezozojskim karbonatima i pleistocenskim pijescima. Procjena je učinjena nadogradnjom ranije objavljenog hrvatskog modela procjene POS-a, uz pomoć Microsoftovog programa „Excel“ i programa „GeoProbe Modeling 1.1“ koji je se koristi za računanje geološke vjerojatnosti pojave ugljikovodika na području HPBS-a.

**Ključne riječi:** polje Ika, geološka vjerojatnost, mezozoik, pleistocen, geološko modeliranje

Diplomski rad sadrži: 48 stranica, 15 slika, 6 tablica

Jezik izvornika: hrvatski

Voditelj: Izv. prof. dr.sc. Tomislav Malvić

Ocjenjivači: Izv. prof. dr.sc. Tomislav Malvić

Prof. dr.sc. Josipa Velić, prof. emerita

Izv. prof. dr.sc. Rajna Rajić

Datum obrane: 16. VI. 2016.

**GENERAL MODEL FOR THE CALCULATION OF GEOLOGICAL PROBABILITY  
ASSOCIATED WITH NEW GAS DISCOVERIES IN THE NORTHERN ADRIATIC WITH  
AN EXAMPLE OF THE IKA GAS FIELD**

Mate Režić

Thesis completed at: University of Zagreb

Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering  
Department of Geology and Geological Engineering  
Pierottijeva 6, 10000 Zagreb

**Abstract:** Ika Gas Field is the only field in the Adriatic with gas reservoir in carbonate rocks. Today in that gas field there are two production platforms, Ika A and Ika B, and five production wells. The development of Ika gas field started in 2004 and production is profitable. Ika Field consists of four reservoirs, the deepest of which is in carbonates. The deepest reservoir is defined with tectonic-erosional discordance which is located at the point of contact of Mesozoic rocks with Pliocene deposits and gas is located below the unconformity. The structure is one of a buried hill with three structural tops. Three other reservoirs are composed of Pleistocene loose sands. The aim of this thesis is to assess the ‘‘Probability Of Success’’ (abbr. POS) of finding new gas discoveries within the marginal area of the both mentioned fields, that is in Mesozoic carbonates and Pleistocene sands. The assessment is completed using the Microsoft Excel and GeoProbe Modeling 1.1 program, which is originally used to calculate the geological probability of hydrocarbon discoveries in the Croatian part of the Panonian Basin System.

**Keywords:** Ika Field, Probability of Success, Mesozoic, Pleistocene, geological modelling

Master's thesis contains: 48 pages, 15 images, 6 tables

Original in: Croatian

**Supervisor:** Associate Professor Tomislav Malvić, PhD

**Reviewers:** Associate Professor Tomislav Malvić, PhD

Professor Emerita Josipa Velić, PhD

Associate Professor Rajna Rajić, PhD

Date of defense: June 16, 2016



**ZAHVALA:**

*Zahvaljujem mentoru izv. prof. dr. sc. Tomislavu Malviću na savjetima, strpljenju i stručnoj pomoći pri izradi ovog rada. Također zahvaljujem prof. dr. sc. Josipi Velić, prof. emerita i izv. prof. dr. sc. Rajni Rajić na izdvojenom vremenu, kvalitetnim smjernicama i savjetima kako bi ovaj rad postao još bolji.*

## **SADRŽAJ**

<b>POPIS SLIKA.....</b>	<b>I</b>
<b>POPIS TABLICA.....</b>	<b>II</b>
<b>POPIS KORIŠTENIH KRATICA .....</b>	<b>III</b>
<b>1. UVOD .....</b>	<b>1</b>
<b>2. GEOGRAFSKA I KLIMATSKA OBILJEŽJA JADRANSKOG MORA .....</b>	<b>3</b>
2.1. Izvor nazivlja i geografska obilježja Jadranskog mora .....	3
2.2. Klimatska obilježja Jadranskog mora.....	4
2.2.1. Temperature mora .....	5
2.2.2. Tlak zraka.....	5
2.2.3. Vjetrovi .....	6
2.2.4. Valovi.....	6
2.2.5. Plima, oseka i slanost Jadranskog mora.....	6
<b>3. NAFTNOGEOLOŠKA ISTRAŽIVANJA U SJEVERNOM JADRANU.....</b>	<b>8</b>
3.1. Povijest istraživanja u Sjevernom Jadranu .....	9
3.2. Najnovija istraživanja na području Sjevernog Jadrana .....	11
3.3. Naftoplinonosnost Sjevernog Jadrana .....	12
3.4. Istraživanja plinskog polja Ika, kao oglednog polja na kome je stvoren model izračuna POS-a.....	14
<b>4. RAZVOJ KARBONATNE PLATFORME I MIGRACIJA PLINA U LEŽIŠTA SJEVERNOG JADRANA .....</b>	<b>15</b>
4.1. Geomorfologija podmorja Jadranskog mora .....	15
4.2. Nastanak Jadranske karbonatne platforme .....	15
4.3. Depresije u Jadranskom moru .....	17
4.4. Migracija plina u ležišta Sjevernog Jadrana .....	23
4.5. Geološki i strukturni odnosi u plinskom polju Ika .....	26
4.6. Petrofizikalni parametri i komponentni sastav plina polja Ika .....	27
<b>5. IZRAČUN GEOLOŠKE VJEROJATNOSTI POSTOJANJA DODATNIH LEŽIŠTA PLINA UNUTAR ZONA POLJA IKA .....</b>	<b>29</b>
5.2. Izračun geološkog rizika korištenjem programa „GeoProbe Modeling 1.1“ prilagođenom prostoru Padske depresije.....	32
5.2.1. Primjena prilagođenoga POS-a za moguće nova karbonatna ležišta šire zone polja Ika .....	36

5.2.2. Primjena prilagođenoga POS -a za moguća nova pješčana ležišta u Sjevernom Jadranu, s modelom razvijenim u polju Ika .....	40
5.3. Geološke podkategorije s najvećim promjenama vrijednosti u izračunu POS –a unutar karbonatne platforme i klastičnih naslaga u Sjevernom Jadranu .....	42
<b>6. DISKUSIJA O REZULTATIMA I METODOLOGIJI .....</b>	<b>44</b>
<b>7. ZAKLJUČAK.....</b>	<b>45</b>
<b>8. LITERATURA .....</b>	<b>46</b>

## **POPIS SLIKA:**

<b>Slika 1-1.</b> Eksploatacijska polja u Sjevernom Jadranu .....	1
<b>Slika 2-1.</b> Geopolitička karta država s izlazom na Jadran .....	4
<b>Slika 3-1.</b> Batimetrijska karta Jadranskog mora .....	8
<b>Slika 3-2.</b> Istraživački prostori u hrvatskom dijelu Jadrana.....	10
<b>Slika 3-3.</b> Shematski korelacijski profil kroz polja Ivana, Izabela, Ika, Anamaria, Marica i Katarina .....	12
<b>Slika 4-1.</b> Prikaz Jadranske Karbonatne platforme.....	17
<b>Slika 4-2.</b> Miocenske i pliocensko-kvartarne depresije u Jadranskom moru .....	18
<b>Slika 4-3.</b> Prostiranje Padske depresije unutar talijanskog i hrvatskog dijela Jadrana .....	21
<b>Slika 4-4.</b> Granice Jadranskog mora u pliocenu .....	21
<b>Slika 4-5.</b> Granice Jadranskog mora tijekom zadnjeg ledenog doba - "Wurma" .....	22
<b>Slika 4-6.</b> Granice Jadranskog mora na početku holocena .....	23
<b>Slika 4-7.</b> Glavni smjerovi sekundarne migracije plina u Padskoj depresiji .....	24
<b>Slika 4-8.</b> Pregledni stratigrafski stup podmorja plinskog polja Ika.....	27
<b>Slika 5-1.</b> Dijagram toka po kojem se računa POS.....	32
<b>Slika 5-2.</b> Izgled programa "GeoProbe modeling 1.1" korišten za izračun geološkog rizika, primjer s kategorijama i odgovarajućim događajima za Dravsku depresiju .....	33



## **POPIS TABLICA:**

<b>Tablica 4-1.</b> Usporedba hrvatskog i talijanskog litostratigrafskog nazivlja formacija.....	20
<b>Tablica 4-2.</b> Maksimalne vrijednosti petrofizikalnih parametara pješčanih ležišta i plinskom polju Ika polju Ika .....	28
<b>Tablica 4-3.</b> Komponentni sastav plina u ležištima ploja Ika .....	28
<b>Tablica 5-1.</b> Geološke kategorije i podkategorije .....	31
<b>Tablica 5-2.</b> Prikaz kategorija, podkategorija i događaja u Exelu korištenih za područje plinskog polja Ika, kao model izračuna geološkog rizika u karbonatima Sjevernog Jadrana..	39
<b>Tablica 5-3.</b> Prikaz kategorija, podkategorija i događaja i Excelu korištenih za područje plinskog polja Ika kao model izračuna geološkog rizika u pijescima Sjevernog Jadrana .....	41

## **POPIS KORIŠTENIH KRATICA:**

**cm** - centimetar

**GPM** – *GeoProbe Modeling*

**hPa** - hektopascal

**HPBS** – hrvatski dio Panonskog bazenskog sustava

**I** – Istok

**IZGL** - izglednost

**JI** – jugoistok

**JJI** – jug, jugoistok

**JKP** – Jadranska karbonatna platforma

**JZ** – jugozapad

**m** - metar

**Pa** - Pascal

**POS** – *Probability of Success*

**SI** – sjeveroistok

**STM** – *Southern Tethian Megaplatfrom*

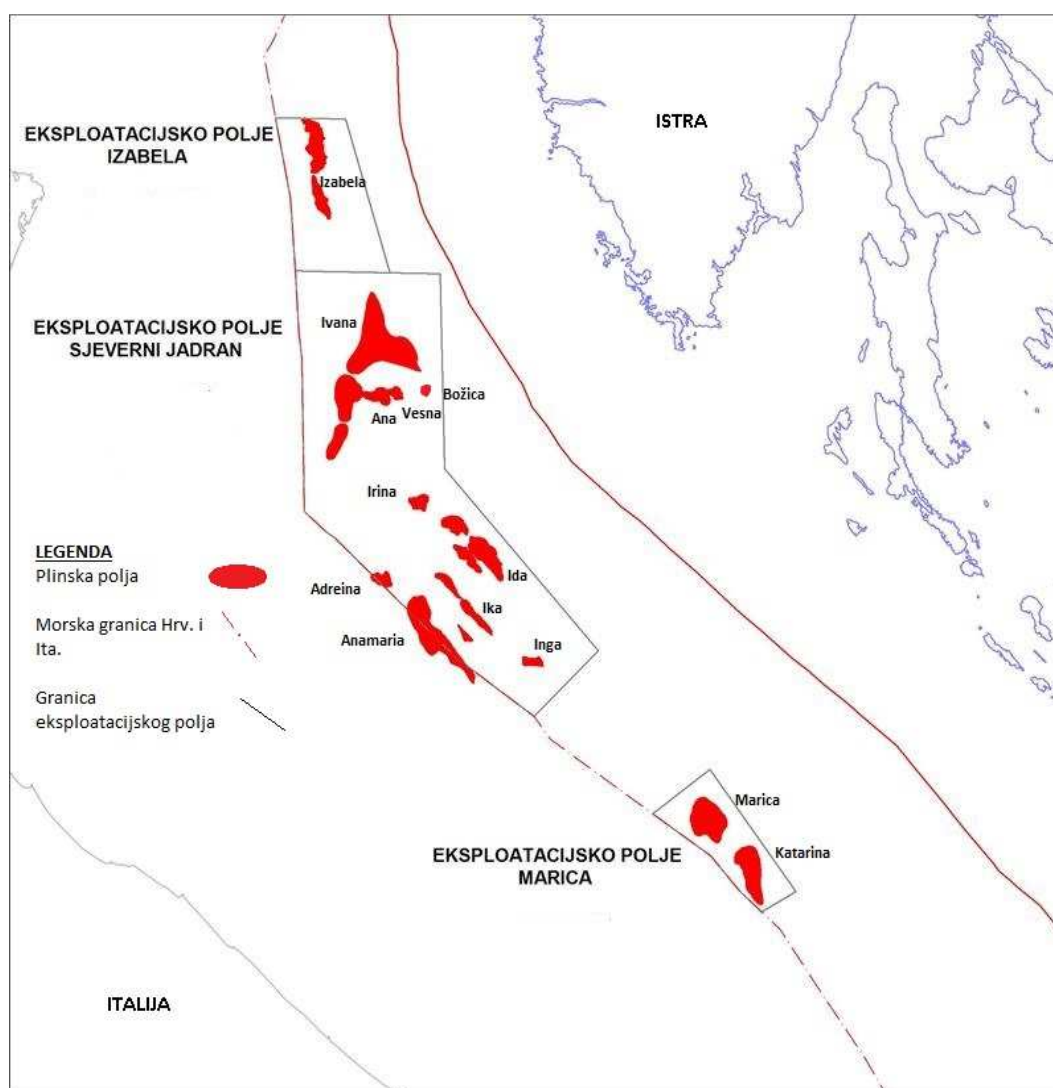
**SZ** – sjeverozapad

**Z** – zapad

**ZSZ** – zapad, sjeverozapad

## 1. UVOD

Plinsko polje Ika smješteno je u eksploatacijskom polju Sjeverni Jadran koje je udaljeno oko 50 km jugozapadno od Pule. Ostala otkrivena plinska polja u blizini jugozapadne obale Istre (slika 1-1.) dobila su nazive: Ivana, Ida, Ana, Vesna, Anamarija i Irina koja zajedno sa spomenutim plinskim poljem Ika čine plinsko eksploatacijsko polje Sjeverni Jadran. Plinsko polje Izabela čini eksploatacijsko polje Izabela, a plinska polja Marica i Katarina zajedno čine eksploatacijsko polje Marica. Eksploatacijsko polje Izabela nalazi se sjeverno od eksploatacijskog polja Sjeverni Jadran, a eksploatacijsko polje Marica južno.



Slika 1-1. Eksploatacijska polja u Sjevernom Jadranu

(<http://www.glasistre.hr/vijesti/hrvatska/stern-pretjerane-price-o-nafti-u-jadranu-444781>)

Značajnija polja su: Ika, Ivana, Marica, Anamarija, a manja polja su: Ida, Irina, Irma, Ksenija, Katarina, Izabela, Koraljka (VELIĆ, 2007), tj. „*Plin se nalazi u rahlim pijescima metarskih dimenzija smještenima dosta plitko – od 500 do 1000 m*“ (VELIĆ, 2007).

Za izračun geološke vjerojatnosti ili rizika (engl. skr. „POS“) otkrića ugljikovodika upotrebljava se poznati deterministički postupak. Postupak se može, uz određene promjene i dodatke, primjeniti za različite litologije ležišta u bilo kojoj naftno - plinskoj depresiji ili bazenu (MALVIĆ, 2009). Cilj ovog rada je izračunati geološki rizik i tako procijeniti postojanje novih količina plina unutar litoloških intervala u podmorju plinskog polja Ika. U plinskom polju Ika radi se o pleistocenskim rahlim pješčenjacima u formaciji Ivana, koji se izmjenjuju s glinovitim laporima i pijescima koji se nalaze iznad diskordancije na dodiru mezozojskih karbonata formacija Mali Alan i pliocenskih taložina formacija Istra. Drugi litološki interval na području plinskog polja Ika su karbonati formacije Mali Alan i nalaze se ispod diskordancije. Podatci su obrađeni numerički i analizirani pomoću tablica.

## 2. GEOGRAFSKA I KLIMATSKA OBILJEŽJA JADRANSKOG MORA

Pod cijelinom 'Geografska i klimatska obilježja Jadranskog mora' opisana su obilježja Jadrana, zemljopisni položaj i klima koji su obrađeni pod zasebnim cjelinama 'Izvor nazivlja i geografska obilježja Jadranskog mora' i 'Klimatska obilježja Jadranskog mora'.

### 2.1. Izvor nazivlja i geografska obilježja Jadranskog mora

Antički grčki geografi (Eratosten, Ptolemej i dr.) Jadran su nazivali *Adriatike talassa* (Jadransko more), po gradu Adria koji se nalazio uz ušće rijeke Po. Rimljani su imali naziv *Adriaticum mare* ili *Sinus Adriaticus* (Jadranski zaljev), Talijani ga kasnije nazivaju *Mare Adriatico*, a albanski naziv je *Deti Aadriatik*. Slavenški naziv je Jadransko more ili kraće – Jadran (**KUČICA, 2013**).

Jadransko more (**slika 2-1.**) je prostrani zaljev središnjeg dijela Mediterana koji ulazi duboko u europski kontinent, a površina iznosi 138.595 km<sup>2</sup>. Proteže se pravcem JI - SZ duljinom od 870 km, od Maranske lagune (Italija) do ušća rijeke Butrint (Albanija) (**FAVRO & KOVAČIĆ, 2010**). Linija koja zatvara Jadransko more pruža se od rta Santa Maria di Leuca, na talijanskoj strani Otrantskih vrata, prema sjevernoj obali otoka Krfa i ušću rijeke Butrint na južnoj obali Albanije (**STRAŽIČIĆ, 1989; KUČICA, 2013**).

Prosječna širina Jadranskog mora iznosi oko 200 km, a s otvorenim Mediteranom povezan je Otranskim vratima širokim oko 70 km. Već je spomenuto kako je Jadransko more dio Mediterana koji je duboko uvučen u europsko kopno, što ga čini prometno jako bitnim (**STRAŽIČIĆ, 1989; KUČICA, 2013**).

Prema Statističkom ljetopisu Republike Hrvatske 1998. objavljen je podatak da je 5835 km ukupna duljina obale Republike Hrvatske. Od tih 5.835 km, 4.058 km ili 97,2% se odnosi na otočne obale, a duljina kopnene obale Hrvatske iznosi 1 777 km. Italiji pripada 1 249 km, Sloveniji 44,5 km, Bosni i Hercegovini 21,2 km, Crnoj Gori 249 km te Albaniji 396 km ukupne duljine obale na Jadranu (**RIĐANOVIĆ, 2002; KUČICA, 2013**).



Slika 2-1. Geopolitička karta država s izlazom na Jadran

([https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Adriatic\\_Sea\\_map\\_hr.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Adriatic_Sea_map_hr.svg))

## 2.2. Klimatska obilježja Jadranskog mora

Važan je položaj Jadranskoga mora jer se nalazi na prijelazu između Mediterana i euroazijskoga kontinentalnog kopna. Sa zapada i sjeverozapada Jadranskog mora osjeća se utjecaj Alpi, ali i zapadnog Mediterana (Genovski zaljev) koji je izvor topline i vlage, a zimi dotječe hladan i suh zrak koji može znatno sniziti temperaturu i uzrokovati mraz na sjeveru. Klima je mediteranska, s najvišom lokalnom prosječnom temperaturom zraka od  $24^{\circ}\text{C}$  u kolovozu i najnižom prosječnom temperaturom od  $5^{\circ}\text{C}$  u siječnju. Ljeta su suha i topla s više od 10 sati sunca dnevno. Temperature iznad  $10^{\circ}\text{C}$  su prisutne više od 240 dana u godini.

(<http://istrapedia.hr/hrv/1333/klima/istra-a-z/>). Zrak se grije usljed dugovalnog zračenja tla od Sunca, a temperaturu zraka na obali osim tla također djeluje i more. More se zbog svojih radijacijskih i apsorpcijskih svojstava sporije grije, ali se i sporije hladi pa zato nema temperaturne ekstreme poput tla ili zraka. Najviše vrijednosti temperature na području Jadrana su u srpnju i kolovozu, a najniže temperature u siječnju i veljači. Srednje siječnjaške temperature su najniže na Sjevernom Jadranu, oko 5 °C, a rastu prema jugu, oko 9 °C. Srednje srpanjske temperature također rastu od Sjevernog Jadrana oko 22,7 °C prema Južnom Jadranu, oko 24,6 °C (**BOŽIKOV, 2008; KUČICA, 2013**).

#### 2.2.1. Temperature mora

Temperatura mora se mjeri na površini dnevno od jedan do tri puta na obalnim i otočnim postajama. Minimalne temperature mora su na svim postajama u veljači ili u ožujku oko 11 °C, a maksimalne temperature mora su u kolovozu oko 24 °C. Tijekom zime temperatura mora na sjevernom Jadranu su za oko 3 °C niže od onih na jugu, a uzrok tome je taj što na područje Južnog Jadrana djeluje topla voda što dotječe kroz Otrant. Prema otvorenom moru vrijednosti temperature mora rastu tijekom zime, a po ljeti vrijednosti temperatura su izjednačene. Ljeti razlike u temperaturi mora između Sjevernog Jadrana i Južnog Jadrana skoro i ne postoje, nego se uočava blago povećanje vrijednosti prema Sjevernom Jadranu. Uzrok povećane hladnoće Sjevernog Jadrana je dotok voda iz sjevernojadranskih rijeka na to područje, uglavnom rijeke Po (**PENZAR, 2001; KUČICA, 2013**).

#### 2.2.2. Tlak zraka

Tlak zraka ili atmosferski tlak je pritisak zračne mase na jedinicu površine i izražava se u paskalima (Pa), a mjeri se živinim barometrom. U meteorologiji se koristi jedinica hektopaskal (hPa, 1 hPa = 100 Pa), a standardnim (normalnim) atmosferskim tlakom smatramo tlak od 101325,4 Pa, odnosno 1013,254 hPa. Standardni atmosferski tlak se odnosi na uvjete pri temperaturi 15 °C na razini mora i geografskoj širini od 45°. Linije koje na vremenskoj karti spajaju mjesta s istim atmosferskim tlakom nazivamo izobarama. Na

Jadranu je registrirano kretanje tlaka između 975 i 1.046 hPa (**BOŽIKOV, 2008; KUČICA, 2013**).

### 2.2.3. Vjetrovi

Na hrvatskoj obali Jadrana razlikujemo tri karakteristična tipa vjetra: jugo – jugoistočni, topli i vlažni vjetar, bura – sjeverni hladni i suhi vjetar te dnevni sjeverozapadnjak i noćnim vjetricem s kopna – burin. Vjetrovi bura i jugo daju glavna obilježja vremena na Jadranu i pušu u zimskom razdoblju od listopada do travnja, a sjeverozapadnjak puše uglavnom ljeti. Jugo je jače i češće na južnom Jadranu, a bura na mjestima gdje su visoke gore, odmah uz more (primjerice Karlobag, Senj, Makarska, Omiš). Zimski su vjetrovi općenito češći, dugotrajniji i jači nego ljetni (**KUČICA, 2013**).

### 2.2.4. Valovi

Valove na Jadranu uzrokuju bura i jugo u zimskom dijelu godine. Značajke površinskih valova uzrokovanih vjetrom ovise o smjeru, brzini i trajanju prevladavajućih vjetrova, površini područja nad kojim ti vjetrovi pušu i dubini mora. Na Jadranu su veće visine valova za vrijeme juga nego bure, a maksimalna visina vala koja je zabilježena na području otvorenog mora Sjevernog Jadrana bila je za vrijeme dugotrajnog olujnog juga i iznosila je skoro 11 m. Za vrijeme puhanja bure vrijednosti maksimalne visine vala u Sjevernom Jadranu mogu doseći i do 7 m (**FAVRO & KOVAČIĆ, 2010; KUČICA, 2013**).

### 2.2.5. Plima, oseka i slanost Jadranskog mora

Plima i oseka Jadranskoga mora imaju relativno male amplitude. U južnome dijelu ta razlika je do 40 cm, dok je u Sjevernom Jadranu nešto veća i iznosi u (Tršćanskom zaljevu) oko 1 metar. U nekim uskim kanalima i zaljevima, plima može poprilično narasti tijekom jake bure, a taj fenomen karakterističan je za velike i duboke zaljeve Južnoga Jadrana. Morske mijene imaju poludnevni ritam tijekom punog mjeseca i mladaka, a dnevni ritam tijekom prve i zadnje četvrti (<http://www.braneweb.net/more.html>).



Ukupna količina soli dobivene iz kilograma morske vode naziva se slanost mora i obično se izražava u gramima ili promilima. Slanost Jadranskoga mora je u prosjeku 38,30 promila, tj. 38,30 grama soli dobije se iz 1 kg vode. U sjevernom dijelu slanost je nešto niža nego na srednjem i južnom zbog utjecaja rijeke Po (<http://www.braneweb.net/more.html>).

Od kemijskih spojeva u moru najviše je zastupljena kuhinjska sol, oko 77 % koja daje moru svojstveni slani okus (natrijev klorid – NaCl). Magnezijev klorid ( $\text{MgCl}_2$ ) zastupljen je sa 11 %. Od sulfata najzastupljeniji je magnezijev sulfat ( $\text{MgSO}_4$ ), koji se poslije NaCl najjače osjeća u okusu mora (**RIDANOVIĆ, 1989; KUČICA, 2013**).

### 3. NAFTNOGEOLOŠKA ISTRAŽIVANJA U SJEVERNOM JADRANU

Republici Hrvatskoj pripada više od 54.000 km<sup>2</sup> površine Jadranskog mora. Prema batimetrijskoj situaciji (**slika 3-1.**) podmorje Jadrana se luči na tri područja, od sjevera prema jugu to su (**VELIĆ, 2007**):

1. Područje između Istre i ušća rijeke Po, gdje je dno blago razvedeno s maksimalnim dubinama do 39 m te se može bušiti pomoću jednostavnijih platformi (tu se nalazi plinsko polje Ika );
2. Od poteza Ravenna - Pula do crte Ancona - Zadar dubine su pretežno do 70 m, s razvedenijim dnom;
3. Od spojnice Monte Gargano – Pelješac – Mljet prema jugu dno je na dubinama od 200 m do 1.000 m dubine s izraženom razvedenošću.



**Slika 3-1.** Batimetrijska karta Jadranskog mora (**VEKIĆ, 2014**; modificirano prema [http://en.wikipedia.org/wiki/File:Adriatic\\_Sea\\_Bathymetry.svg](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Adriatic_Sea_Bathymetry.svg))

Istraživačkim bušotinama Ine u hrvatskom dijelu Jadrana nisu nabušene komercijalne količine nafte, ali su registrirane manje pojave u nekoliko njih (npr. 'Vlasta -1', 'Jadran -9', 'Jadran -3', 'Kate -1'). Naftogeološki potencijal Jadranskog podmorja ipak je potvrđen, jer su u Sjevernom Jadranu utvrđena ležišta plina koja se danas eksploatiraju i razrađuju, a u cijelom Jadranu dokazano je nekoliko horizonata matičnih stijena mezozojske starosti. Ležišta plina Sjevernog Jadrana se nalaze, sva osim karbonatnog ležišta polja Ika, u pleistocenskim slojevima koji su smješteni relativno plitko te su naslage u tom području dobro istražene. Ostaje otvoreno pitanje potencijala starijih geoloških slojeva u tom području, koji se nalaze na većim dubinama zalijeganja te su prekriveni debelim slijedom mlađih sedimenata (npr. <http://www.hgi-cgs.hr/2dsnimanja.html>).

Plinska polja u Sjevernom Jadranu otkrivena su uporabom seizmičkih 2D i 3D podataka, koji su prikupljeni između 1968. i 2007. godine. Seizmička analiza zona zasićenih plinom ukazala je na prepoznatljive anomalije (tzv. engl. *brightspot*), što je upotrijebljeno za određivanje granica i karakterizaciju ležišta (npr. **MALVIĆ et al., 2011**). Naftogeološka istraživanja u Sjevernom Jadranu i u oglednom plinskom polju Ika opisana su u podcjelinama 'Povijest istraživanja u Sjevernom Jadranu', 'Najnovija istraživanja Sjevernog Jadrana', 'Naftoplinonosnost Sjevernog Jadrana' i 'Istraživanja plinskog polja Ika, kao oglednog polja na kome je stvoren model izračuna POS-a'.

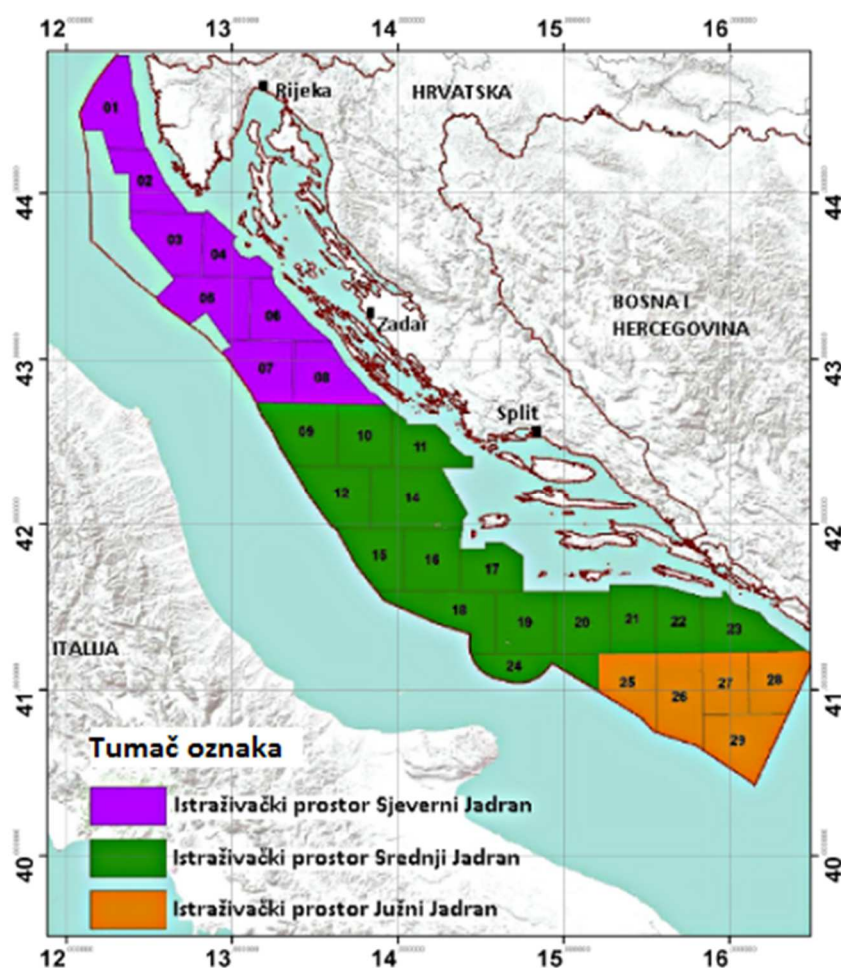
### 3.1. Povijest istraživanja u Sjevernom Jadranu

Istraživanje u hrvatskom dijelu Jadranskoga mora započelo je 1968. godine uporabom broda za marinska seizmička istraživanja „Vez“. Danas u tom prostoru postoji snimljeno oko 45.000 km 2D seizmičkih profila, 6.200 km<sup>2</sup> 3D seizmike te je načinjeno 135 bušotina. Prva bušotina bila je 'Jadran-1' izrađena u području Dugootočke depresije 1970. godine. Plinsko polje Ivana otkriveno je 1973. godine bušotinom 'Jadran-6' u Sjevernom Jadranu, a većina ležišta plina su smještena u pleistocenskim sedimentima istaloženim u području Padske depresije. U razdoblju između 1978. – 1993. godine otkriveno je još šest plinskih polja u tom prostoru: Ika, Ida, Annamaria, Ksenija, Koraljka i Irma (npr. **MALVIĆ et al., 2011**).

U razdoblju od 1982. do 1989. godine na površini od 17.000 km<sup>2</sup> provedena su istraživanja u suradnji sa stranim partnerima (AGIP, Chevron, Texaco, i Hispanoil). Tijekom tih skupnih projekata izgrađeno je 13 bušotina od kojih je 10 bilo 'negativnih', u dvije su pronađene nekomercijalne količine plina, dok je u jednoj bušotini bilo tragova nafte. Glavni

objekt istraživanja bili su vapnenci i dolomiti gornje krede i paleogena, naslage koje se nalaze iznad očekivanih matičnih stijena gornjokredne, donjokredne i trijaskne starosti. Do 2000. godine ukupno je izrađeno 116 istraživačkih i 12 razradnih bušotina te je snimljeno dužinski više od 75.000 km seizmičkih profila. Ovim su istraživačkim radovima utvrđene stijene u rasponu od gornjeg perma do kvartara (VELIĆ, 2007).

Područje Jadrana podjeljeno je u tri istraživačka bloka (**slika 3-2.**): sjevernojadranski, srednojadranski i južnojadranski blok. Sjevernojadranski blok proteže se do okomice koja spaja Šibenik i liniju razgraničenja hrvatskog i talijanskog istraživačkog područja. Srednojadransko podmorje nastavlja se u smjeru JI sve do razdjelnice koja počinje na polovici udaljenosti između Visa i Korčule te dalje ide približno prema jugu do linije razgraničenja. Južnojadranski istraživački blok obuhvaća područje dalje prema JI, a uključuje otoke Lastovo i Korčulu (VELIĆ, 2007).



**Slika 3-2.** Istraživački prostori u hrvatskom dijelu Jadrana

([http://www.mingo.hr/public/energetika/Okvirni%20plan\\_%20i%20program\\_%20istrazivanja\\_%20i%20eksploatacije\\_%20ugljikovodika\\_%20na\\_%20Jadranu.pdf](http://www.mingo.hr/public/energetika/Okvirni%20plan_%20i%20program_%20istrazivanja_%20i%20eksploatacije_%20ugljikovodika_%20na_%20Jadranu.pdf))

INAgip (zajednička hrvatsko - talijanska operativna tvrtka) odgovorna je za tri istraživačke koncesije unutar kojih se nalaze sva hrvatska plinska ležišta otkrivena u Padskoj depresiji. U budućnosti, aktivnosti te tvrtke odvijat će se u smjeru održavanja trenutne razine pridobivanja i nastavljanju istraživanja te razradbi i otkrivanju novih rezervi u prethodno neistraženim ležištima ili razradbom ranije nepridobivih u pridobive rezerve (npr. **MALVIĆ et al., 2011**).

### **3.2. Najnovija istraživanja na području Sjevernog Jadrana**

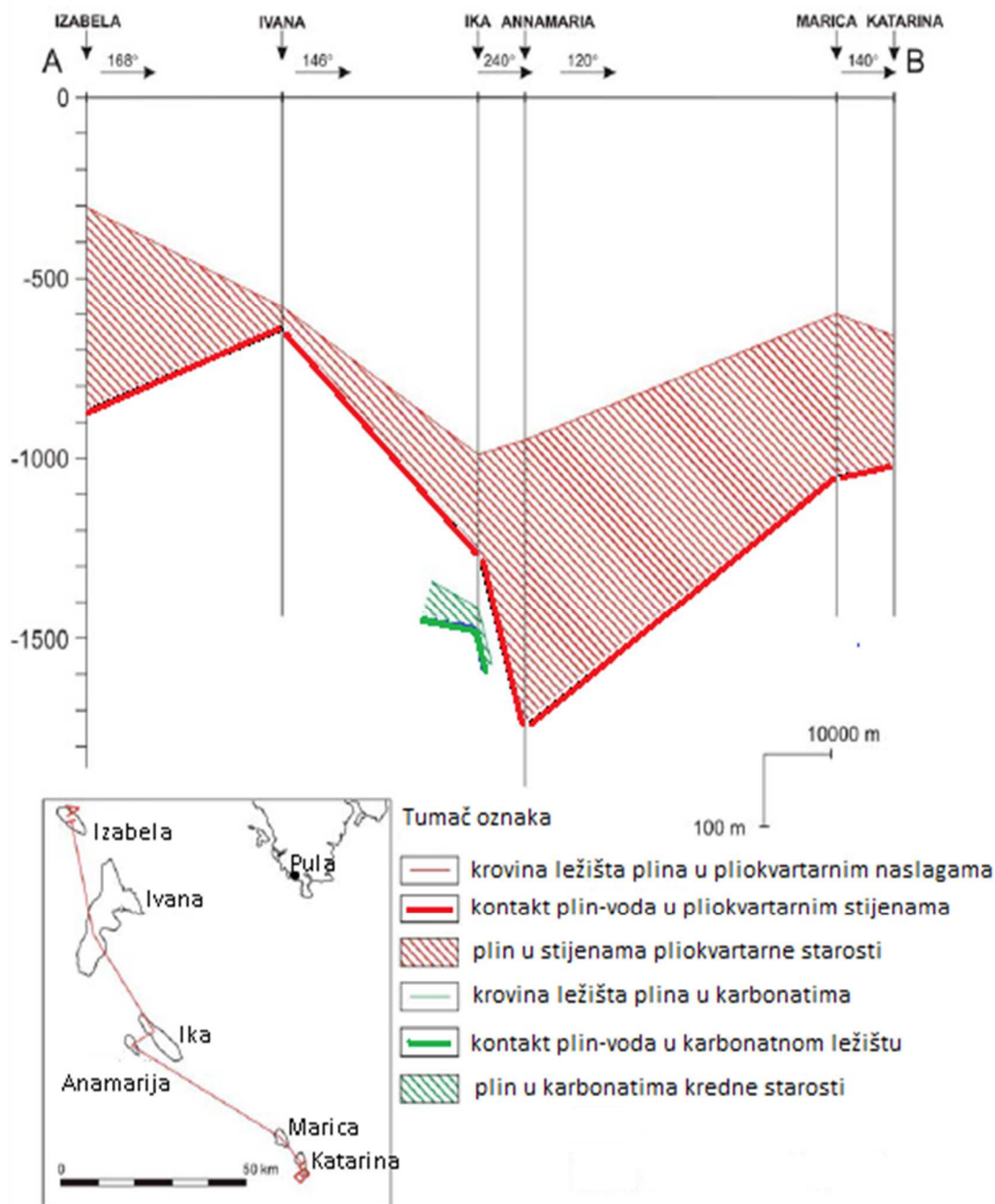
Najnovija seizmička istraživanja, odnosno 2D seizmičko snimanje hrvatskog dijela Jadranskog mora provela je kompanija *Spectrum Geo Ltd*. Istraživanja su započela početkom rujna 2013., a završena su u drugoj polovici siječnja 2014. godine. U istraživanje je bio uključen Hrvatski geološki institut koji je imenovan od strane Ministarstva znanosti, obrazovanja i športa da, kao mjerodavna znanstvena institucija, prati tijek snimanja. 2D seizmičko istraživanje izvedeno je brodom *Northern Explorer* specijaliziranom za seizmička snimanja. Brod je u vlasništvu kompanije *Seabird Exploration* (<http://www.hgi-cgs.hr/2dsnimanja.html>).

Tijekom izvođenja projekta, prvi put su snimljeni i prikupljeni suvremeni podatci dugačkim nizom prijamnika, pri čemu je korištena najsuvremenija tehnologija seizmičkog 2D snimanja. Treba napomenuti da su takvi suvremeni 2D seizmički snimci, za razliku od 2D snimaka prikupljenih u prethodnim istraživanjima, znatno razlučiviji te omogućuju uvid u dublju strukturnu građu Jadranskog podmorja. Ukupno je snimljeno dužinski oko 15.000 km linija seizmičkih profila pružanja SZ - JI te SI - JZ, odnosno paralelnih i okomitih na pružanje Dinarida (<http://www.hgi-cgs.hr/2dsnimanja.html>).

Važno je napomenuti da 2D seizmički snimci ne mogu pokazati fizičku prisutnost ugljikovodika, nego otkrivaju geološko - strukturnu građu podzemlja, odnosno omogućuju uvid u potencijalne, uglavnom strukturne, zamke za naftu i plin. 2D seizmičko snimanje je samo prva faza u istraživanjima ugljikovodika, nakon koje slijedi 3D modeliranje na područjima koja pokazuju naftnoplinski potencijal zahvaljujući svojoj strukturnoj građi. 3D seizmičkim snimanjem dobija se i treća dimenzija tj. volumen mogućeg ležišta nafte i/ili plina.

### 3.3. Naftoplinonosnost Sjevernog Jadrana

Do danas provedena istraživanja rezultirala su otkrićem plinskih ležišta u sedimentima donjeg pleistocena. Plinonosnici su bočno široko rasprostranjeni što jako otežava ograničavanje polja (slika 3-3.). Spomenute okolnosti uvjetuju skupu razradbu i donekle upitnu isplativost crpljenja u nekim dijelovima ležišta, posebice rubnim ili tankim.



**Slika 3-3.** Shematski korelacijski profil kroz polja Ivana, Izabela, Ika, Anamaria, Marica i Katarina (OSTOJČIĆ, 2010)



Osim otkrivanja ležišta nafte i plina, provedena istraživanja te razni istraživački radovi omogućavaju određene regionalne zaključke što se tiče litoloških i tektonskih odnosa te uvjeta naftoplinonosti. Takvi uvjeti i odnosi se razlikuju idući od plićih kvartarnih i gornjoneogenskih taložina u dublje dijelove sa starijim stijenama neogenske, paleogenske, mezozojske i paleozojske starosti (**KRANJEC, 1990; VELIĆ, 2007**). U skraćenom obliku prikazani su važniji zaključci u pet točaka (**VELIĆ, 2007**):

1. U podini pliocenskih i pleistocenskih taložina, ispod seizmički izražene tektonsko erozijske diskordancije, nalaze se klastiti i vapnenci paleogena te karbonati i evaporiti donje krede;
2. Unutar starijih paleogenskih i mezozojskih naslaga također su moguće diskordancije, tektonsko - erozijske vrste. Zamjećuje se još jedan diskontinuitet na granici s klastitima donjega trijasa, karbonatima, pješčenjacima i glinenim škriljavcima mlađeg paleozoika, jure i trijasa. Karakteristične su uspravne, kose, polegle, normalno i reverzno rasjednute bore;
3. Taloženje tijekom pliocena i pleistocena bilo je povremeno prekinuto kopnenim razdobljima i tektonskom aktivnošću, što se odrazilo pojavama nekoliko tektonsko - erozijskih diskordancija unutar klastičnih naslaga;
4. Sve spomenute diskordancije smatraju se trasama negdašnje migracije ugljikovodika koja je mogla završiti nakupljanjem ili njihovom disperzijom;
5. Diskordancije, transgresivan slijed naslaga te okomito i vodoravno izražene promjene litološkog sastava od krupnoklastičnog do glinovitog uvjetuju da su plinonosne taložine unutar većih struktura ograničenog rasprostiranja.

U budućnosti se mogu očekivati daljnji nalazi ležišta koja su slična do sada otkrivenima, ali ležišta koja su povezana s glavnim tektonsko – erozijskim diskordancijama unutar sedimenata mezozojske i kenozojske starosti (**VELIĆ, 2007**). Moguća su ležišta poput nasljednih 'buried hill' struktura te ležišta koja su također unutar takvih nasljednih struktura, ali nisu 'buried hill' tipa.“ (**KRANJEC, 1990; VELIĆ, 2007**).

Zahvaljujući novim prihvaćenim koncepcijama moguća ležišta ugljikovodika mogu se očekivati i uz rubove solnih struktura (dijapira) te rubna područja mlađih strukturnih depresija koje su zapunjene mlađim kenozojskim sedimentima.

### **3.4. Istraživanja plinskog polja Ika, kao oglednog polja na kome je stvoren model izračuna POS-a**

Plinsko polje Ika smješteno je u južnom dijelu eksploatacijskog polja Sjeverni Jadran. Udaljeno je oko 50 km ZJZ od Pule, oko 40 km u smjeru JJI od polja Ivana te 6 km SI od polja Anamaria. Dubina mora na području polja Ika je od 55 m do 60 m. Sastav sastav sedimenata dna je mulj, glina i pijesak (**ĐUREKOVIĆ et al., 2002**).

Istraživačkom bušotinom 'Jadran -18/1' 1978. godine otkriven je plin u klastičnim sedimentima pleistocenske starosti (Ivana formacija) na južnom rubu Istarske platforme. Tijekom istraživačkih radova ovo je područje nosilo radni naslov 'Lokalitet Jadran-18', a zatim je područje preimenovano u plinsko polje Ika (**OSTOJČIĆ, 2010**). Od kraja sedamdesetih pa do druge polovice osamdesetih načinjeno je 15 bušotina ('J-18/1', 'J-18/2', 'J-18/3', 'J-18/4', 'J-18/5', 'J-18/6', 'J-18/7', 'J-18/8', 'J-18/9', 'J-18/10', 'J-18/11', 'J-18/12', 'J-18/13', 'IKA-1', 'IKA-2') (**ĐUREKOVIĆ et al., 2002**).

Druga duboka istraživačka bušotina 'Jadran -18/2' izrađena je 1979. godine i potvrdila je plin u raspucanim mezozojskim karbonatima (Mali Alan formacija) koji se nalaze ispod tektonsko – erozijske diskordancije. Bušotinom 'Jadran -18/6A' izrađenom 1981. godine završena je istraživačka faza plinskog polja Ika (**OSTOJČIĆ, 2010**).

1985. godine započinje geološka razradba polja Ika, a izrađene su ocjenske bušotine Ika-1 i Ika -2 tako da bi se procijenila pridobivost ležišta plina u karbonatima (**OSTOJČIĆ, 2010**). 1991. godine kompanija INA – Naftaplin pokreće 2D seizmička istraživanja, a 1997. 3D seizmička istraživanja (**ĐUREKOVIĆ et al., 2002**).

Tijekom 2004. i 2005. godine instalirane su dvije eksploatacijske platforme, Ika A i Ika B, i izrađeno je 5 razradnih bušotina. Tijekom 2008. godine izrađena je kosa bušotina 'IKA B -3 DIR' (**OSTOJČIĆ, 2010**). Posljednja izrađena bušotina je IKA SW -2DIR u listopada 2009. godine (**OSTOJČIĆ, 2010**).



#### **4. RAZVOJ KARBONATNE PLATFORME I MIGRACIJA PLINA U LEŽIŠTA SJEVERNOG JADRANA**

U ovoj cjelini opisani su geomorfologija podmorja Jadrana i razvoj Jadranske karbonatne platforme u podcjelinama 'Nastanak jadranske karbonatne platforme', 'Geomorfologija podmorja Jadranskog mora', 'Depresije u Jadranskom moru' i 'Naftnogeološki odnosi u plinskom polju Ika' i 'Migracija plina u polja Sjevernog Jadrana'.

##### **4.1. Geomorfologija podmorja Jadranskog mora**

Geomorfološka struktura Jadranskog mora geološki je mlada jer su današnji oblici obale nastali promjenama morske razine u holocenu. Jadransko more izduženi je sinklinorij koji se sastoji od dva različita dijela, prema značajkama holocenskih taložina, odvojena Palagruškim pragom. Tako se Jadransko more može podijeliti na Sjevernojadransko pješčano područje i Južnojadransko s pijeskom, muljom i siltom, odnosno mješovitim sedimentima. Sjeverno recentno taložno područje obuhvaća cijeli Sjeverni i dio Srednjega Jadrana do spojnice Kornati – Pescara, a Južnojadransko područje obuhvaća prostor jugoistočno od te spojnice. Duboke kotline, Jabučka i Palagruška te dno na uskom pojasu između otoka Jabuke, Biševa, Sušca, Lastova i Palagruže prekriveno je siltom te su dubine veće od 200 m. (**FAVRO & KOVAČIĆ, 2010; KUČICA, 2013**). Sjeverni dio Jadrana nastavlja se prema jugoistoku preko Jabučke udoline s najvećom dubinom od oko 240 m. Proteže se poprečno uz glavnu os u duljini od oko 130 km i širini od oko 40 km. Od Jabučke udoline dno se izdiže stotinjak metara u širokom Palagruškom pragu, između Lastova i Monte Gargana, na kojem se nalaze nekoliko otočnih skupina: Palagruža, Pianosa i Tremiti. Na jugoistočnoj strani Palagruški prag se relativno strmo spušta u duboku Južnojadransku kotlinu čija dubina doseže 1233 m, što je i najdublja točka Jadranskog mora (**STRAŽIČIĆ, 1989; KUČICA, 2013**).

##### **4.2. Nastanak Jadranske karbonatne platforme**

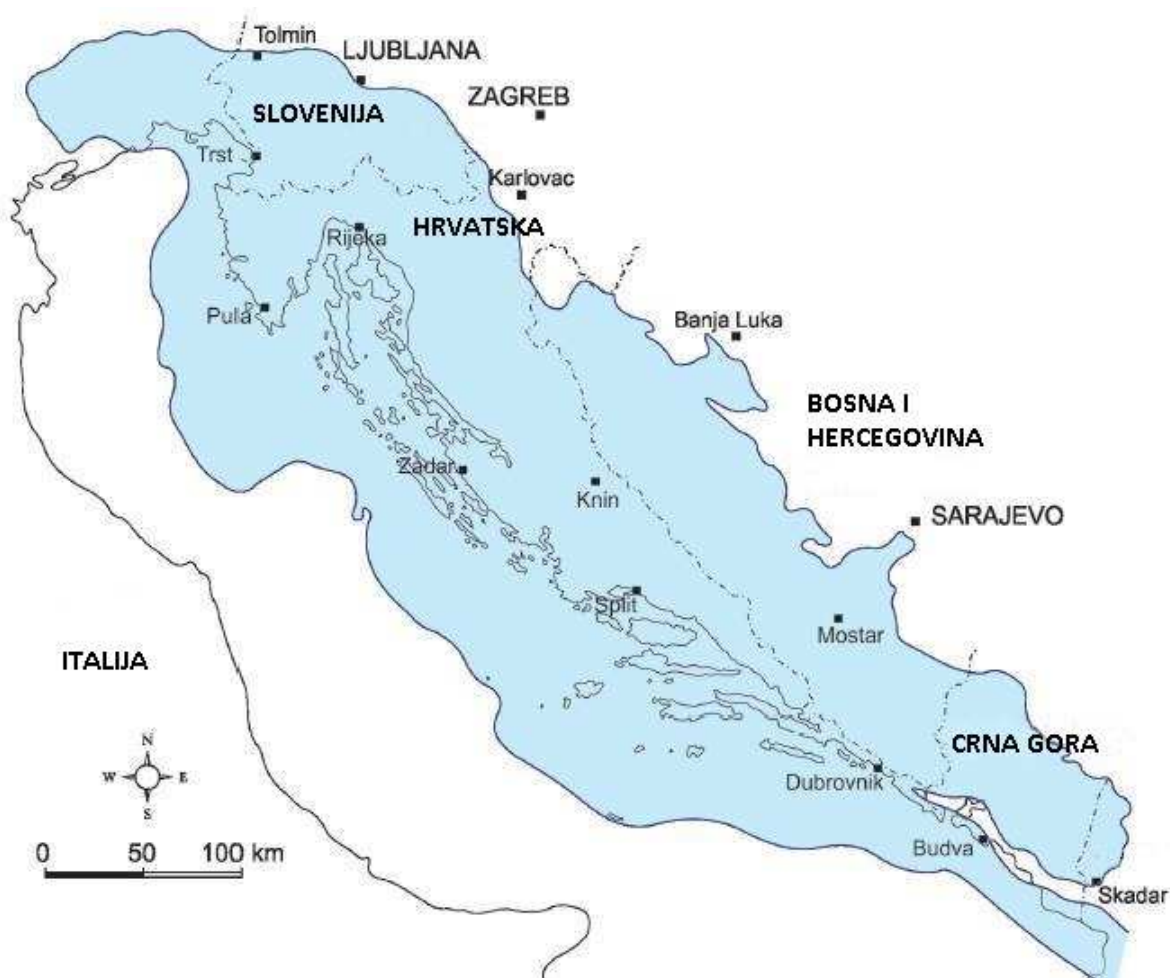
Jadranska karbonatna platforma jedna je od najvećih mezozojskih platformi perimediteranskog područja (**slika 4-1.**). Prostire se na području Italije, Slovenije, Hrvatske, Bosne i Hercegovine, Crne Gore i Albanije. Obuhvaća taložine od donje jure pa sve do kraja krede koje definiraju Jadransku karbonatnu platformu kao zasebni paleogeografski entitet.

Debljina naslaga taloženih tokom 125 milijuna godina varira u rasponu između 3.500 m – 5.000 m (**VLAHOVIĆ et al., 2005**). Podina platforme se dijeli na tri sekvencije. Najstarija sekvencija, gornji karbon – srednji perm (Brušane formacija), se sastoji od siliciklastičnih taložina i vapnenačkih leća gornjeg karbona, karbonatnih taložina donjeg perma i kontinentalnih klastičnih taložina donjeg i srednjeg perma. Srednja sekvencija, srednji perm – srednji trijas (Brušane formacija – Baške Oštarije formacija), karakterizirana je karbonatima i evaporitima srednjeg i gornjeg perma (Brušane formacija), klastitima i karbonatima donjeg trijasa i vapnencima i vulkanskim stijenama srednjeg trijasa. Granica između gornjeg i srednjeg trijasa (Baške Oštarije formacija) okarakterizirana je fazom emerzije. Emerzija i vulkanizam posljedica su regionalnih događaja koji su povezani s riftovanjem u srednjem trijasu. Početak treće sekvencije označava rifting. Srednji i gornji trijas karakterizirani su plitkomorskom sedimentacijom, debelim slijedom karbonata uključujući i gornjotrijaske glavne dolomite i donjojurske vapnence (**VLAHOVIĆ et al., 2005**). Do srednjeg trijasa, područje buduće Jadranske karbonatne platforme odgovaralo je području sjeverne granice Gondwane. Vulkanizam dovodi do stvaranja ogromnog plitkomorskog prostora na jugu Tethysa koje se naziva *Southern Tethian Megaplatform* (STM) (**VLAHOVIĆ et al., 2005**).

Dezintegracija STM, odnosno odvajanje Jadranske karbonatne platforme (JKP) od Apeninske i Apulijske karbonatne platforme, dogodila se u donjoj juri formiranjem morskog korita koji spaja Jonski bazen sa Belluno i Umbria Marche pelagičkim bazenima (**VLAHOVIĆ et al., 2005**). Od gornjeg trijasa pa do paleogena (eocena) u području Jadranskog bazena prevladava plitkovodna karbonatna sedimentacija. U gornjoj kredi, karbonatna platforma se postupno dezintegrira (**VLAHOVIĆ et al., 2005**; **VELIĆ, 2007**). Tektonskim pokretima u srednjem i gornjem eocenu te donjem oligocenu stvara se prostor budućeg Jadranskog bazena (**PRELOGOVIĆ & KRANJEC, 1983**; **VELIĆ, 2007**), a pokrete prati intenzivna klastična sedimentacija (**VELIĆ, 2007**). Tektonski pokreti traju i danas što se očituje potresima koji su česti. Tektonski su najaktivniji rubni dijelovi Jadranskog bazena, a javljaju se u širim zonama paralelnih, pretežno reverznih rasjeda. Recentno se odvija morska transgresija s mjestimice izraženijim spuštanjem obale i daljnim produbljavanjima depresija (**VELIĆ, 2007**).

Do kraja krede veliki dijelovi platforme su izronuli tako da se taložni prostor platforme jako smanjio, a do transgresije preko paleoreljefa dolazi u eocenu. Na taloženje liburnijskih naslaga i foraminiferskih vapnenaca utjecala je jaka tektonika odnosno formacija unutarnjih bazena (engl. „foreland basins”). Rezultirajući slijed od 200 m karbonata je bio samo uvod u

taloženje fliša i konačno zapunjavanje bazena sa karbonatno klastičnim talozima, Promina naslagama i Jelar brečama (VLAHOVIĆ et al., 2005).



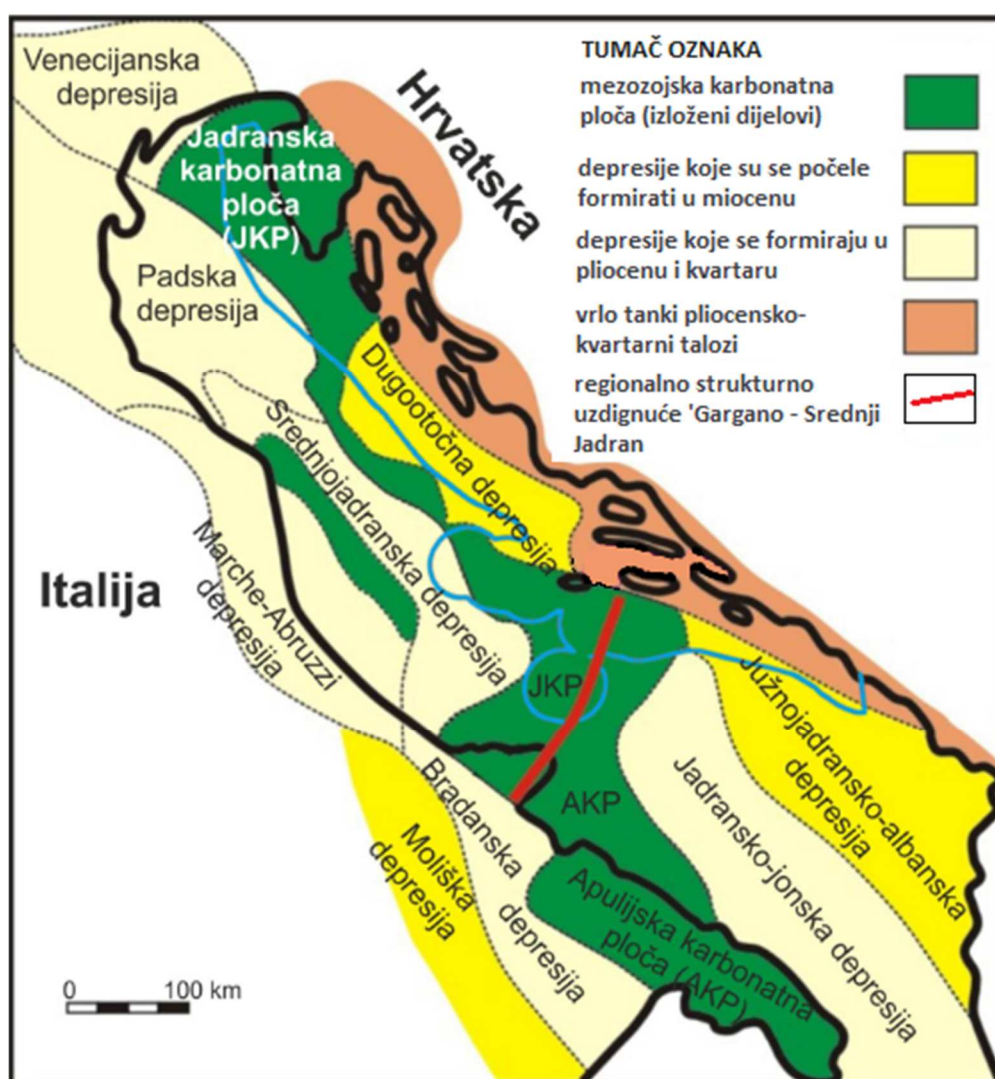
Slika 4-1. Prikaz Jadranske Karbonatne platforme (VLAHOVIĆ et al., 2005)

#### 4.3. Depresije u Jadranskom moru

„Jadranski bazen je podijeljen u nekoliko depresija koje su se oblikovale u miocenu i pliocenu.“ (VELIĆ, 2007). Padska depresija se nalazi na kopnu, između Južnih Alpa i Apenina, a na istoku završava pod Jadranskim morem gdje se nalaze plinska polja Sjevernog Jadrana. Padska depresija ispunjena je pliocensko – pleistocenskim sedimentima sa debljinama na nekim mjestima većima od 7.000 m, pa i 10.000 m. Pliocensko – pleistocenski sedimenti su prekriveni holocenskim taložinama (VELIĆ, 2007). U miocenu su oblikovane tri depresije: Dugootočna depresija, Južnojadransko – albanska depresija i Moliška depresija. U pliocenu nastaju i ostale depresije: Venecijanska depresija, Padska depresija, Marche –

Abruzzi depresija, Srednjojadranska depresija, Bradanska depresija i Jadransko – jonska depresija (VELIĆ, 2007), što prikazuje **slika 4-2**.

Najveće depresije su Padska i Južnojadransko - albanska, ali kao ni ostale te dvije depresije nisu bile stalnih granica rasprostranjenosti i sedimentacijskih uvjeta, što je izraženo kroz nejednaku ispunjenost sedimentacijskog prostora i diskordantne odnose između pojedinih litoloških jedinica i asimetričnost oblika depresija. U hrvatskom dijelu Jadrana nalaze se Dugotočna depresija, istočni dijelovi Padske depresije, istočni dijelovi Srednjojadranske depresije i mali dio Južnojadransko-albanske depresije (VELIĆ, 2007).



**Slika 4-2.** Miocenske i pliocensko-kvartarne depresije u Jadranskom moru (VELIĆ & MALVIĆ, 2011).

Kvartar se dijeli na pleistocen koji obuhvata period od prije 2,6 mil. god. do oko 0,011 mil. god. i holocen od 0,011 do danas. Kvartar je obilježen klimatskim promjenama, što upućuje na to da su sedimenti taloženi naizmjenično u toplim ili hladnim uvjetima u području otvorenog šelfa. Za vrijeme pleistocena volumen leda na Zemlji bio je tri puta veći nego što je danas, a debljina ledenog pokrova bila je oko 2 km. Opća razina mora tijekom zadnjeg oledbenog razdoblja bila je niža za oko 120 m, a tijekom međuledenih razdoblja razina mora je rasla pa je katkad dosegla i nekoliko metara više razine od današnjih (MALVIĆ et al., 2015).

Hrvatska plinska polja u Sjevernom Jadranu pripadaju jugoistočnom dijelu Padske depresije, čiji se najveći dio danas nalazi na kopnu između Južih Alpi i Apenina. To područje je bilo tijekom pliocena prekriveno morem te se pružalo sve do ruba Istarske platforme. Detritus je podrijetlom iz Alpi i njegova ukupna debljina može lokalno biti veća od 6 000 m u talijanskom dijelu. U hrvatskom dijelu bio je dominantan litofacijes prodelte, zbog udaljenosti od paleodelte rijeke Po, koja se postupno širila prema JI (slika 4-3.). Turbiditi su prenosili glavninu materijala u plitkom, hemipelagičkom okolišu s dubinama do 200 metara, a izmjena turbiditskih i hemipelagičkih facijesa glavno je obilježje taložnih sekvencija u hrvatskom dijelu Padske depresije poglavito tijekom pleistocena (MALVIĆ et al., 2011). Ti facijesi su obuhvaćeni različitom litostratigrafskom nomenklaturom (tablica 4-1.) u hrvatskom i talijanskom dijelu Padske depresije. Plinska polja unutar Padske depresije primjer su razrade i proizvodnje iz geološki vrlo mladih ležišta (npr. MALVIĆ et al., 2011).

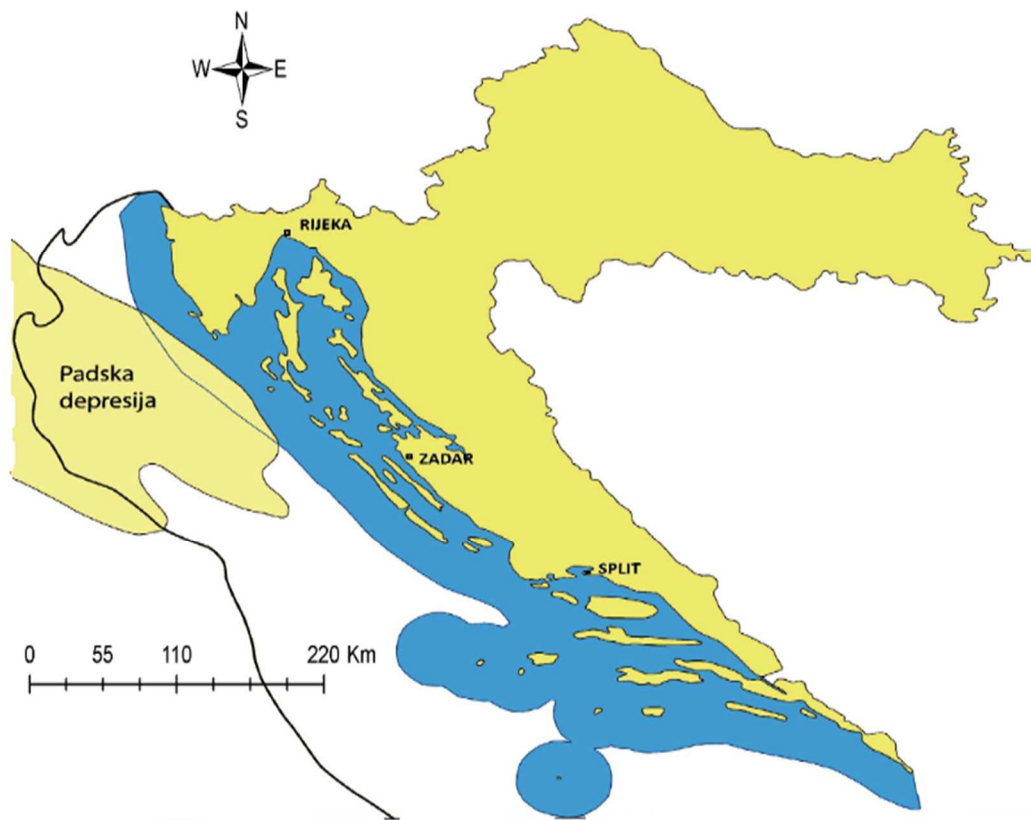
Tijekom pliocena koje obuhvaća razdoblje od prije 5, 332 mil. god. do 2, 588 mil. god., tada dolazi do taloženja pelita na području Sjevernog Jadrana te dolazi do porasta razine mora i Jadransko more poprima današnje obrise, ali uz znatno veću površinu koju prekriva (slika 4-4.) (MALVIĆ et al., 2015). „Planktonske i bentičke foraminifere ranog pliocena upućuju na toplu klimu te taloženjem u okolišima otvorenoga mora. Kasni pliocen obilježen je manjom raznolikošću i brojem planktonskih foraminifera što je posljedica umjerene dohladne klime tijekom bibera ( $\approx 2,5$  mil. god.).“ (MALVIĆ et al., 2015). Debljina pliocena veća je u talijanskom podmorju zbog blizine rijeke Po koja je donosila detritus s Alpi i zbog tonjenja prostora Sjevernog Jadrana koji se dogodio u kasnom pliocenu. Uzrok tomu je nastanak strmih padina gdje dolazi do taloženja materijala koji je donešen s kopna (MALVIĆ et al., 2015). Ta padina bila je tada smještena oko 200 km Z – SZ u usporedbi s današnjom deltom te je utjecaj turbidita stvorenih na toj plitkoj padini u hrvatskom dijelu depresije bio vrlo mali. U hrvatskom dijelu Padske depresije naslage su slabo konsolidirane ili nekonsolidirane. Zbog

udaljenosti od delte rijeke Po taloženi su pijesak, siltni pijesak, glina, glinjak i glinoviti lapor (MALVIĆ et al., 2015).

**Tablica 4-1.** Usporedba hrvatskog i talijanskog litostratigrafskog nazivlja formacija (modificirano prema MALVIĆ et al., 2011; MALVIĆ et al., 2015; VELIĆ et al., 2015)

KRONOSTRATIGRAFSKA JEDINICA	LITOSTRATIGRAFSKE FORMACIJE		
	HRVATSKI NAZIV	TALIJANSKI NAZIV	
HOLOCEN	RECENTNI SEDIMENTI		
PLEISTOCEN	IVANA	čl. IZABELA	RAVENNA
		čl. KATARINA	CAROLA
		čl. ANAMARIJA	
PLIOCEN	ISTRA	PORTO GARIBALDI	
		SANTERNO	
MIOCEN	RAŠA	CLARA	
		CORINNA	
		SCHLERI	
		CAVANELLA B	
		BISCIARO	
		CAVANELLA A	
		SCAGLIA CINEREA	
		SCAGLIA	
OLIGOCEN	MALI ALAN	CALCARI DEL CELINA	
EOCEN		?	
PALEOCEN(?)			
GORNJA KREDA			
DONJA KREDA			
GORNJA JURA			
SREDNJA JURA			
DONJA JURA		BASKE OŠTARJE	
TRIJS			
PERM	BRUŠANE	?	
KARBON			





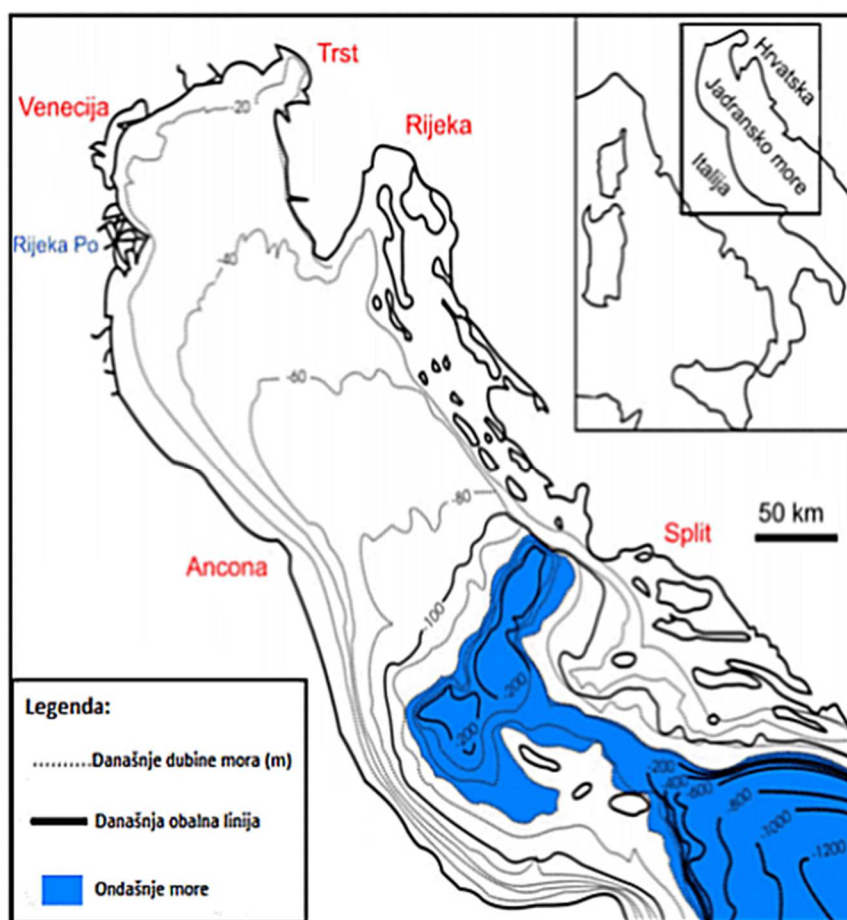
**Slika 4-3.** Prostiranje Padske depresije unutar talijanskog i hrvatskog dijela Jadrana



**Slika 4-4.** Granice Jadranskog mora u pliocenu  
(VELIĆ & MALVIĆ, 2011 prema CORREGGIARI et. al., 1996)

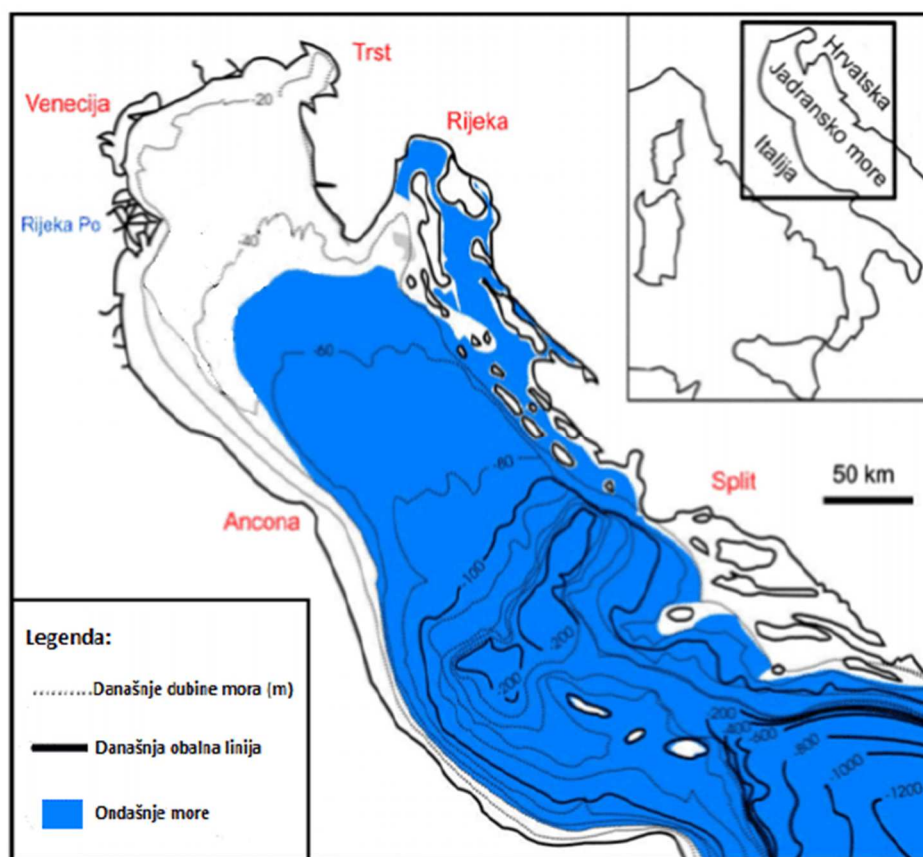
*Jadransko more u današnjim granicama približno je oblikovano nakon zadnjeg glacijala Würma u kojem je zadnji put tijekom kvartara današnje jadransko morsko dno na velikoj površini bilo izloženo kao kopno.*“ (MALVIĆ et al., 2015). (slika 4-5. & slika 4-6.).

Pleistocenski litofacijesi su značajno drugačiji od pliocenskih, jer su obilježeni izmjenom pijesaka i siltova. Kako se delta rijeke Po pomicala prema jugoistoku, više je pijeska i silta doseglo hrvatski dio depresije. Ukupna debljina pleistocenskih sedimenata kreće se između 900 i 1500 metara, unutar čega pojedina pješčana ležišta mogu imati debljinu veću od 20 metara (npr. MALVIĆ et al., 2011).



**Slika 4-5.** Granice Jadranskog mora tijekom zadnjeg ledenog doba - "Würma"  
(VELIĆ & MALVIĆ, 2011 prema CORREGGIARI et al., 1996)



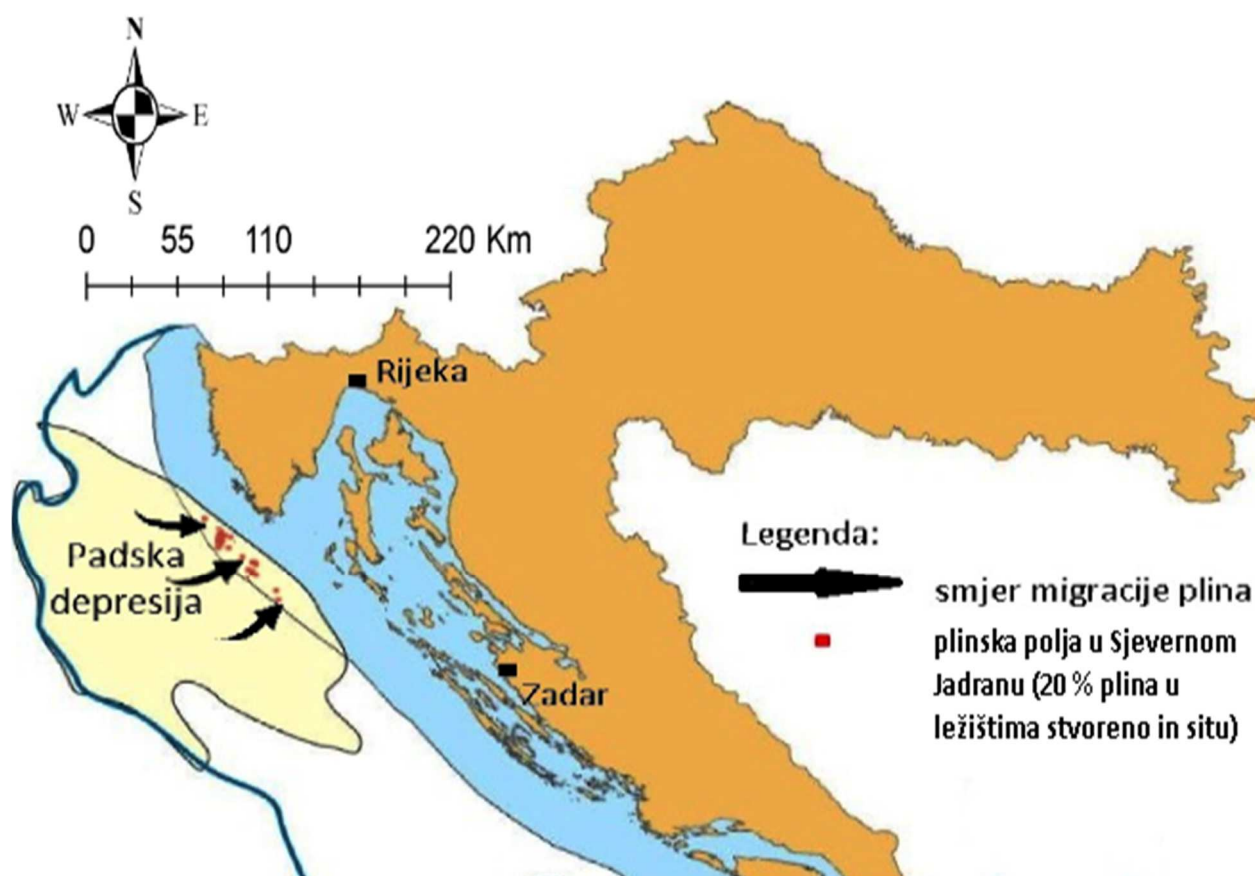


**Slika 4-6.** Granice Jadranskog mora na početku holocena  
(VELIĆ & MALVIĆ prema CORREGGIARI et al., 1996)

#### 4.4. Migracija plina u ležišta Sjevernog Jadrana

Ležište u polju Ika vrlo je zanimljivo, jer je jedino takvo u raspucanim karbonatima. Karbonati su u toj strukturi položeni pliće nego inače zbog odraza regionalnih tektonskih procesa u području kolizije Alpida, Apulijske i Jadranske platforme. Najstarije naslage utvrđene su, uz polje Ika, i u prostoru plinskih polja Ivana i Ida. To su raspucani mezozojski karbonati, a litostratigrafski pripadaju formaciji Mali Alan. U plinskom polju Ivana to su bioklastični vapnenci kredne starosti, a u širem prostoru plinskog polja Ida mikropaleontološkim analizama određene su naslage gornje jure. To su razni tipovi vapnenaca: svijetlosivi, svijetlosmeđi do sivi vapnenci tipa madston i madston / pekston s porama koje su nastale otapanjem. U manjoj mjeri utvrđeni su vapnenci tipa vekston / pekston, te pekston / grejnston relativno velikih šupljina međuzrnskog tipa. Karbonatna ležišta plinskog polja Ika sastoje se od vapnenaca (madston, vekston, pekston, grejnston), dolomitiziranih vapnenaca i dolomita (PAVIĆ, 2007).

Kopneni detritus bio je mjestimice bogat organskim materijalom (korjenčići, listovi, stabljike biljaka, itd.) koji je zajedno s kršjem donošen iz Alpi pomoću rijeka Po, Piave, Adige te taložen u Jadranu. Ležišta biogenog plina u Sjevernom Jadranu posljedica su raspada toga organskog materijala pod utjecajem bakterija na malim dubinama, 500 – 1000 m. Spomenute dubine i jesu prosječne dubine naših ležišta u Sjevernom Jadranu. Radi se o ogromnoj količini organskog materijala kojega su razgrađivale bakterije. Kako su znatno veći volumeni detritusa odlagani u danas talijanskom dijelu depresije, posljedično je i generiranje takvoga plina tamo bilo znatno obilnije. Uz migracijske putove od 10 - 30 km te uzgon koji će pogoniti lakše fluide prema strukturno plićim dijelovima i to u strukture u danas hrvatskom dijelu, logično je pretpostaviti kako je dio plina u ležištima Sjevernom Jadrana tu došao sekundarnom migracijom sa zapada (**slika 4-7.**). Dio plina je zasigurno stvoren u samim ležištima polja Sjevernog Jadrana.



**Slika 4-7.** Glavni smjerovi sekundarne migracije plina u Padskoj depresiji

Formacija Istra obuhvaća klastične sedimente taložene na bazenskoj rampi tijekom pliocena. Pretežitu litologiju te formacije čine lapori i gline. U njima se mogu naći leće siltne gline, no nisu opažene krupnije frakcije poput pijeska. Donja granica te formacije predstavljena je transgresivnim taložinama koje mogu biti na erozijskoj diskordanciji, dok gornju granicu čini pojava sedimenata formacije Ivana. Debljine formacije varira unutar Padske depresije, a znatno je veća u talijanskom dijelu zbog blizine područja donosa detritusa, odnosno rijeke Po. U mikrofossilnom sadržaju dominiraju planktonske foraminifere, a formacija litološki vrlo homogena nije podijeljena na članove (npr. **MALVIĆ et al., 2015**).

Tijekom ranog pleistocena počinju se javljati klastiti turbiditnog podrijetla taloženi preko formacije Istra, što označava početak nastanka formacije Ivana. Kontakt je transgresivan, uz pojave diskordancija na nekim mjestima (npr. **MALVIĆ et al., 2015**). „Formacija uključuje izmjenu glina i siltnih pijesaka unutar kojih su otkrivena glavna plinska ležišta Sjevernog Jadrana. Debljina joj je 400 – 1900 metara, što ovisi o paleoreljefu na koji je taložena, te tektonskoj i klimatskoj povijesti tijekom pleistocena i holocena.“ (**MALVIĆ et al., 2015**). Upravo ta formacija je u analiziranom prostoru i cijelom Sjevernom Jadranu glavni ležišni litofacijes, negdje i jedini. Uz to obje formacije (Istra i Ivana) izvori su organske tvari iz koje se lokalno stvarao biogeni (bakterijski) plin. Iako je to zasada nemoguće kvatificirati, povezujući zemljopisno veće strukture, migracijske putove i postotak prerađene terestričke tvari, moguće je ustvrditi sljedeće:

- a) U hrvatskom dijelu plin je generiran unutar taložina formacije Ivana, u horizontima s velikim sadržajem organske tvari, zadržan je tamo gdje je pretvorba započela kada su već krovinske stijene nepropusnoga litofacijesa bila dijelom litificirane.
- b) U talijanskom dijelu generirajući horizonti biogenog plina ravnomjerno su razvijeni u ekvivalentima obje formacije, Istra i Ivana
- c) U oba prostora stvorene su veće količine biogenog plina, međutim talijanski dio preteže značajno zbog znatno većih debljina pa time i količine organske tvari, blizine izvorišta pa time i manjeg mehaničkog trošenja te tvari i veće brzine tonjenja pa time i brže konsolidacije nepropusne krovina iznad ležišta s «in situ» plinom.
- d) Stoga se može pretpostaviti kako su u hrvatskim ležištima nakupljeni plinovi koji su sekundarno migrirali iz talijanskog dijela te dijelom i oni stvoreni "in situ" u hrvatskom dijelu (uz kratke putove prvotne i drugotne migracije).
- e) Nije moguće kvatificirati količine prema izvorištu, no može se pouzdano pretpostaviti dominacija plina stvorenog u talijanskom dijelu.

#### 4.5. Geološki i strukturni odnosi u plinskom polju Ika

Ležišta plina nalaze se u karbonatima formacije Mali Alan i u turbiditnim i deltnim pijescima formacije Ivana koji se izmjenjuju s glinovitim laporima. Te karbonatne stijene ujedno su i najstarije nabušene u tom polju. Karbonatna ležišta predstavljena su različitim tipovima vapnenaca (madston, vekston, pekston, grejnston) (nazivi prema **TIŠLJAR, 1994.**), dolomitiziranim vapnencima i kasnodijagenetskim dolomitima (**ĐUREKOVIĆ et al., 2002**). Utvrđena starost vapnenaca je gornjojurska te kredna. Vapnenci su trošeni i ispucani, a pukotine su im ispunjene glinom.

Istovremeno je iz njih moguće i rentabilno pridobivanje. Sadrži četiri ležišta, među kojima se najdublje bitno litološki razlikuje u odnosu na ostala, jer je određeno tektonsko - erozijskom diskordancijom koja se nalazi na dodiru mezozojskih s pliocenskim taložinama. Ugljikovodici su nakupljeni ispod te diskordancije unutar uzdignutog dijela paleoreljefa (**slika 4-8.**) (**VELIĆ, 2007**).



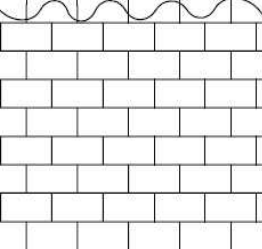
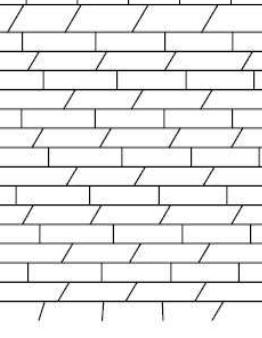
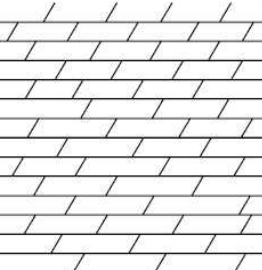
Karbonatno ležište ima prvotnu međuzrnsku i drugotnu pukotinsku i *vuggy* poroznost. Učestalost pojavljivanja pukotina je u rasponu od jedne do dvije pukotine po metru, a pružanje im je paralelno s pružanjem glavnog rasjeda na polju Ika. Pukotine su ispunjene zelenom glinom te zbog toga karbonatno ležište nije homogeno. Zelena glina je dokaz terestičkog utjecaja za vrijeme taloženja te je karbonatno ležište zbog toga u nekim djelovima manje ležišne kvalitete. (**ĐUREKOVIĆ et al., 2002**).

Pješčana ležišta predstavljena su facijesom pješčanih turbiditnih sedimenata, tj. „*Debljina slojeva varira od nekoliko centimetara do 1,5 m.*“ (**ĐUREKOVIĆ et al., 2002**). s poroznostima većima od 30 % (**ĐUREKOVIĆ et al., 2002**) te pripadaju formacijama Ivana i Istra (**VELIĆ & MALVIĆ, 2011**).

Tri gornja ležišta su izgrađena od pleistocenskih rahlih pijesaka, a leže na pliocenskim laporima koji se nalaze iznad istaknutog dijela paleoreljefa, a prema tome radi se u cijelosti nasljednoj ‘burried hill’ strukturi (**KRANJEC, 1990; VELIĆ, 2007**). Struktura je predstavljena izdignutim podinskim krilom rubnog normalnog rasjeda koji je bio aktivan za vrijeme pliocena i u donjem pleistocenu. Struktura je podijeljena u tri strukturna uzvišenja i to antiklinala A, antiklinala B i antiklinala C. Utvrđeno je postojanje strukturnih i strukturno - stratigrafskih zamki (**OSTOJČIĆ, 2010**).

U antiklinali A polja Ika utvrđeno je ukupno 46 intervala u zasićenju plinom od čega je 19 intervala formirano u naslagama s povoljnim kolektorskim svojstvima i ima značajne rezerve plina. U antiklinali B utvrđeno je 12 intervala u zasićenju plinom od čega je 5 već

uključeno u razradbu, a 6 ležišta nije interesantno za razradbu zbog malih rezervi. U antiklinali C utvrđeno je 8 intervala u zasićenju plinom od kojih su 4 predviđena za rentabilnu proizvodnju (OSTOJČIĆ, 2010).

Dubina [m]	Starost		Debljina [m]	Litološki sastav	Pojave plina	Opis litološkog sastava
	kvartar	pleistocen i holocen	50 - 2000		●	lapori, sltni lapori, pjeskovite gline, pijesak, pješčani piroklastiti, proslojci ugljena
	neogen	pliocen	0 - 200			mekani sltni lapori, vapnoviti pješčenjaci, vapnenačke valutice
≈1000	kreda	gornja	200 - 2000		●	glinoviti vapnenci, vapnenci, mariliti, ponešto breča
		donja				
	jura	gornja	500 - 2000			vapnenci sa stromatolitima, madstoni, rekristalizirani dolomiti i vapnenci
		srednja				
		donja				
	trijas	gornji	?			kasnodijagenetski dolomiti s nešto madstona i anhidrit

**Slika 4-8.** Pregledni stratigrafski stup podmorja plinskog polja Ika  
(modificirano prema VELIĆ, 2007)

#### 4.6. Petrofizikalni parametri i komponentni sastav plina polja Ika

Petrofizikalni parametri (**tablica 4-2.**) procjenjuju se analizom karotažnih dijagrama i analizom jezgri. Obuhvaćaju se tri vrijednosti: šupljikavost ( $\Phi$ ), propusnost ( $k$ ) i zasićenje

vodom ( $S_w$ ). „Prirodni plin u tim ležištima klasificiran je kao "suhi plin" ( $< 100$  g viših homologa ugljikovodika u  $m^3$  plina) odnosno glavni sastojak je "čisti" metan ( $C_{2+} < 0,2$  %).“ (OSTOJČIĆ, 2010).

Veliki negativni odnos izotopa ugljika ( $^{13}C - 74$  ‰) ukazuju na bakterijsko podrijetlo metana. Stvaranje i nakupljanje ugljikovodika odvija se na dubinama između 600 i 1 300 m (BARIĆ, 2006), (OSTOJČIĆ, 2010). Sastav plina polja Ika određen je iz kromatografskih analiza (tablica 4-3.).

U ležištu su prisutni metan, dušik, ugljični-dioksid i sumporovodika, što može ukazivati na mezozojsku starost ugljikovodika koji su migrirali iz karbonata do diskordancije (VELIĆ, 2007). Po sastavu ležišta polja Ika pripadaju ležištima suhog plina sljedećeg sastava: 99,35 % metana, 0,48 % dušika i 0,17 ugljičnog dioksida.

**Tablica 4-2.** Maksimalne vrijednosti petrofizikalnih parametara pješćanih ležišta i plinskom polju Ika polju Ika (modificirano prema OSTOJČIĆ, 2010)

PLINSKO POLJE	ŠUPLJIKAVOST $\Phi$ (%)	ZASIĆENJE VODOM $S_w$ (%)	PROPUSNOST $k$ ( $10^{-3} \mu m^2$ )
IKA	>30	68	>50

**Tablica 4-3.** Komponentni sastav plina u ležištima ploja Ika (modificirano prema OSTOJČIĆ, 2010)

PLINSKO POLJE	IKA				
KOMPONENTE	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	N <sub>2</sub>	C <sub>2+</sub>
VOLUMNI %	0,17	99,35	-	0,48	-



## 5. IZRAČUN GEOLOŠKE VJEROJATNOSTI POSTOJANJA DODATNIH LEŽIŠTA PLINA UNUTAR ZONA POLJA IKA

U Hrvatskoj je već prije za izračun geološkoga rizika, odnosno vjerojatnosti (engl. skr. „POS“, hrv. skr. «IZGL», koja ujedno kao akronim upućuje na izglednost) otkrića ugljikovodika u postojećem ili novom stratigrafskom intervalu ili izglednom području unutar Dravske depresije upotrijebljen tada dobro poznati deterministički postupak (npr. **MALVIĆ, 2003**). Takav postupak izračuna geološkog rizika se može, uz dorade, primijeniti za gotovo sve litologije ležišta u bilo kojem naftno-plinskom bazenu ili depresiji, ali je pri tomu potrebno definirati područje u kojem se takav izračun radi (**MALVIĆ, 2009**).

Geološka vjerojatnost je, matematički, jednostavni deterministički umnožak vjerojatnosti nekoliko geoloških kategorija, kao neovisnih vjerojatnosnih događaja, a konačan rezultat je procjena postojanja ugljikovodika (**MALVIĆ, 2009**). Svaka geološka kategorija opisana je s više događaja od kojih svaki ima određenu vjerojatnost. Vrijednost vjerojatnosti kategorije je jednostavan umnožak odabranih vrijednosti vjerojatnosti događaja (**MALVIĆ & VELIĆ, 2015**). Takva procjena može biti više ili manje subjektivna, oviseći prvenstveno o tomu je li svaka pojedinačna kategorija procijenjena od znalca ili preuzeta iz službenih tablica vjerojatnosti. Nadalje, iako je polazna postavka kako se radi o neovisnim događajima, oni su naravno često puta isprepleteni i uvjetuju jedan drugoga. Međutim takva veza je daleko prekompleksna da bi se pouzdano i zavisno opisala, čak i geomatematičkim metodama, stoga je ovaj postupak izračuna geološke vjerojatnosti (skr. "IZGL") i danas jedan od načina takve procjene. Posljedično, slične procjene mogu biti orijentirane stohastički (umjesto deterministički), posebno one koje se odnose na ležišne događaje, no takav pristup treba odgovarati ponašanju prirodnih fenomena (ili geoloških procesa) koji se najčešće nalaze između determinizma i kaosa, tj. u području stohastike (**MALVIĆ, 2009**).

Računanje geološkog rizika je dobro utvrđen alat za procjenu potencijalnih ležišta ugljikovodika unutar „*play* –a“ ili „*prospect* –a“. Izraz „*play*“ je definiran kao stratigrafska jedinica koja je u rangui kata (kronostratigrafski) gdje pridobivanje ugljikovodika već postoji. Također, „*play*“ je opisan kao radna jedinica koja obuhvaća nekoliko ekonomskih jedinica, koje su definirane kao okomite projekcije potencijalnog ležišta s bočno omeđenim granicama, odnosno „*prospect*“ (**MALVIĆ & VELIĆ, 2015**).

## 5.1. Kratka teorija geološkog rizika (vjerojatnosti)

Izračun je najvećim dijelom subjektivan postupak, jer svaka pojedinačna kategorija može biti procijenjena od strane inženjera (geologa), iz službeno prihvaćenih tablica vjerojatnosti ili naknadnom provjerom vjerojatnosti (engl. „*benchmarking*“) poštujući nove bušotinske podatke. Općenito, stratigrafski zanimljivi intervali, s obzirom na ležišta ugljikovodika, analiziraju se deterministički procjenom nekoliko temeljnih neovisnih kategorija imenovanih kao:

- (1) zamka
- (2) ležište,
- (3) migracija,
- (4) matična stijena i
- (5) očuvanje ugljikovodika.

Događaji koji su karakteristični za promatrane kategorije se određuju na temelju izvješća iz bušotina, karotažnih dijagrama, seizmičkog profiliranja, analize jezgara, stratigrafije, proučavanja geoloških odnosa istraživanog područja te iz odgovarajućih laboratorijskih analiza.

Pomoću navedenih vrijednosti (**tablica 5-1.**) izračunava se geološki rizik ("IZGL") za svaki promatrani stratigrafski interval upotrebom sljedeće jednadžbe prikazane u izrazu 5-1. (**MALVIĆ, 2009**):

$$IZGL = p(z) \times p(l) \times p(m) \times p(ms) \times p(oCH) \quad (5-1.)$$

"IZGL" (Izglednost) – geološka vjerojatnost (rizik)

p – vjerojatnost geološkog događaja

p(z) – vjerojatnost s obzirom za zamku

p(l) – vjerojatnost s obzirom za ležište

p(m) – vjerojatnost s obzirom na migraciju

p(ms) – vjerojatnost s obzirom na matičnu stijenu

p(oCH) – vjerojatnost s obzirom na očuvanje ugljikovodika

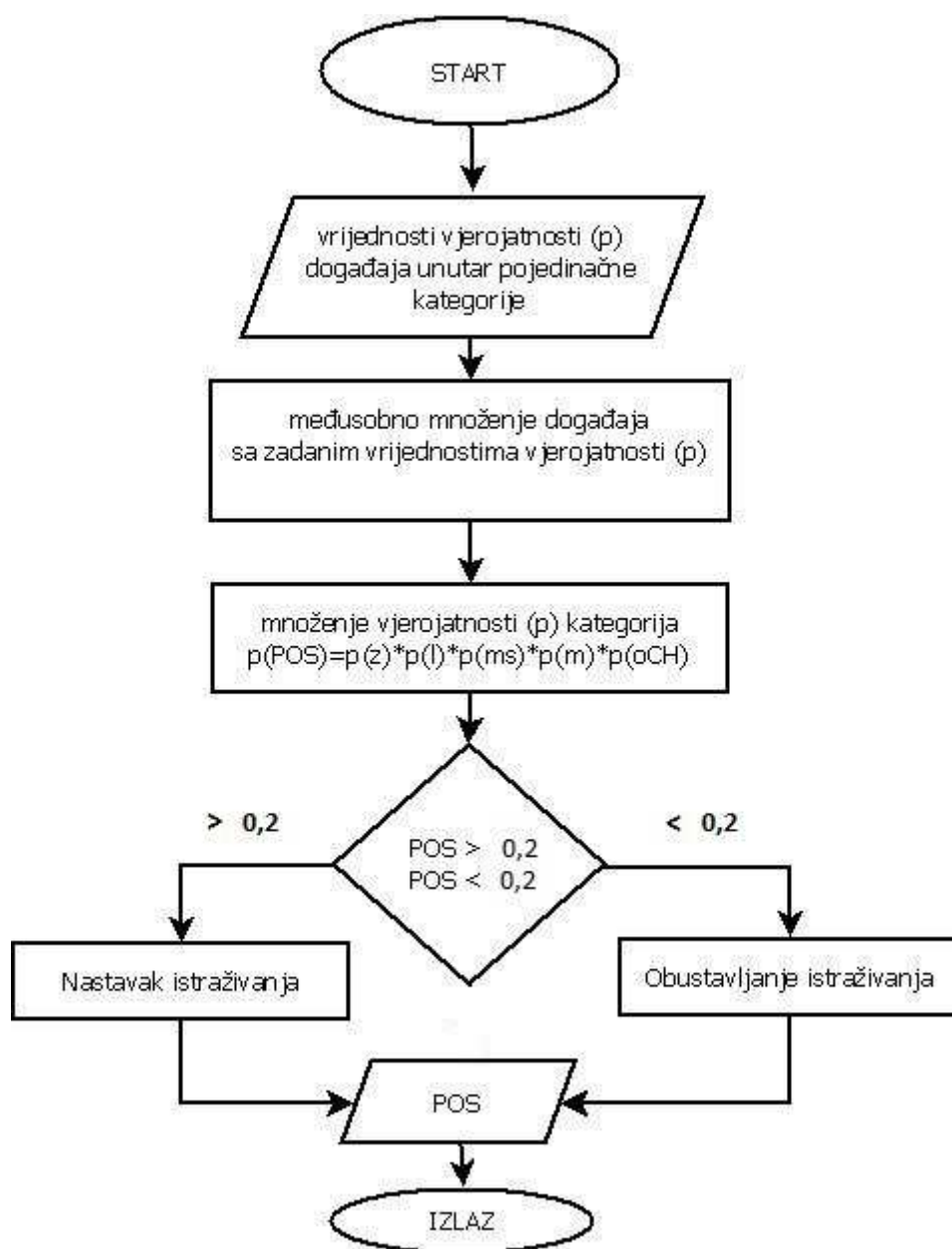
Vrijednosti za "IZGL" i 'p' su odabrane deterministički kao vjerojatnosti iz intervala 0-1. Algoritam za računanje "IZGL" prikazan je na **slici 5-1**. Broj 0,2 je granična vrijednost na



temelju kojeg se odlučuje hoće li biti daljnjih istraživanja ili neće, ovisno je li dobivena vrijednost vjerojatnosti veća ili manja od 0,2.

**Tablica 5-1.** Geološke kategorije i podkategorije (MALVIĆ, 2003)

<b>kategorije i podkategorije</b>
<b>(A) postojanje matičnih stijena – zrelosti – migracije</b> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. količina i kvaliteta organskog materijala (<i>prostiranje i debljina tih stijena, ukupni <math>C_{org}</math> tip kerogena</i>)</li> <li>2. zrelost (<i>postignuta termijska zrelost kroz dovoljno vremena, ali ne predaleko u prošlosti</i>)</li> <li>3. migracija (<i>da li je ostvarena primarna i sekundarna</i>)</li> </ol>
<b>(B) postojanje zamki – izolatorskih stijena – vremena</b> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. zamka (<i>postoji li, kakvog je tipa i volumena</i>)</li> <li>2. izolatorske stijene (<i>postoje li, gdje, da li su djelomično propusne za plin, jesu li rasjednute</i>)</li> <li>3. vrijeme (<i>je li postojalo dovoljno vremena za migraciju</i>)</li> </ol>
<b>(C) postojanje rezervoara – šupljikavosti – propusnosti</b> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. debljina (<i>posjeduju li rezervoarske stijene dovoljnu debljinu, dolazi li do promjene facijesa, isključivanja, rasjedanja</i>)</li> <li>2. šupljikavost (<i>postoje li kontinuirano dovoljno visoke vrijednosti</i>)</li> <li>3. propusnost (<i>postoje li kontinuirano dovoljno visoke vrijednosti</i>)</li> </ol>
<b>(D) jesu li ugljikovodici sačuvani – njihova kvaliteta – mogućnosti pridobivanja</b> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. sačuvanje (<i>da nije bilo ispiranja, biodegradacije ili raspršenja</i>)</li> <li>2. kvaliteta (<i>da nafta nije previskozna, zasićenje ugljikovodicima premalo, odnosno stupac ugljikovodika prenizak</i>)</li> <li>3. pridobivanja (<i>lakše crpljenje, uz povoljne tlakove i temperature</i>)</li> </ol>



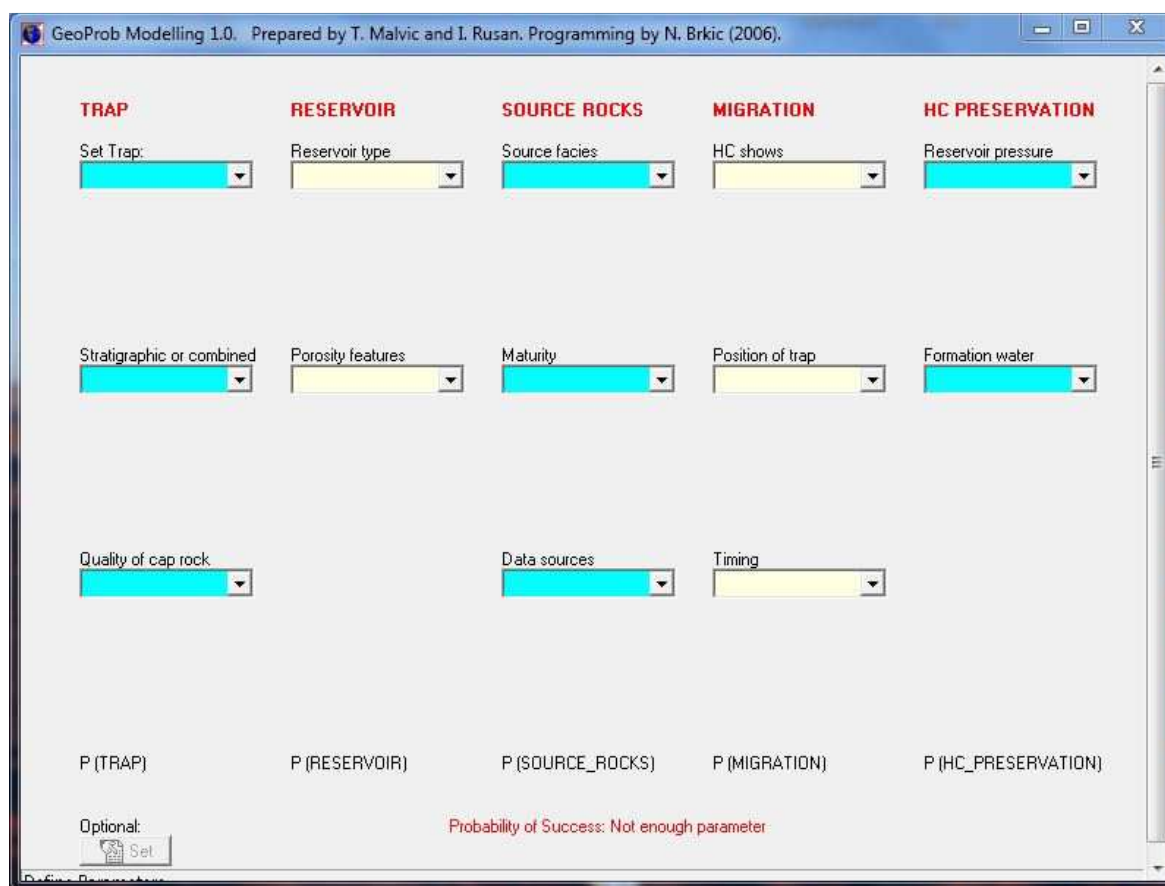
**Slika 5-1.** Dijagram toka po kojem se računa POS

## 5.2. Izračun geološkog rizika korištenjem programa „GeoProbe Modeling 1.1“ prilagođenom prostoru Padske depresije

Kao što je već spomenuto, Excel, koji je izvrstan alat za statistiku, je korišten za izračun vjerojatnosti i promatranih događaja koje su prilagođene za plinsko polje Ika u eksploatacijskom polju Sjeverni Jadran. Treba uzeti u obzir da su geološki događaji unutar kategorija izmijenjeni i prilagođeni istraživanom području. Kod „Excela“ konačni izračun geološke vjerojatnosti se razlikuje ovisno o tome računamo li vjerojatnost pojavljivanja plina

u pijescima ili karbonatima, a samo računanje je jednako onom u programu „GPM 1.1“ odnosno vjerojatnosti kategorija se međusobno množe.

U ovom diplomskom radu korišten je program „GeoProbe Modeling 1.1“ (pripremili **MALVIĆ & RUSAN**, programirao **BRKIĆ, 2006**) (slika 5-2.) pomoću kojeg je izračunata "IZGL" na području polja Ika na temelju kategorija, podkategorija i vjerojatnosti njima pridruženih događaja za hrvatski dio Panonskog bazenskog sustava. Program „GeoProbe modeling 1.1“ (GPM 1.1) je na engleskom jeziku.



**Slika 5-2.** Izgled programa "GeoProbe modeling 1.1" korišten za izračun geološkog rizika, primjer s kategorijama i odgovarajućim događajima za Dravsku depresiju

Svaka od kategorija opisuje se određenim geološkim događajima, pri čemu se svakom događaju pridružuje vjerojatnost u intervalu od 0,0 – 1,0. Minimalna vrijednost vjerojatnosti je 0,0 dok 1,0 označava vjerojatnost za sigurne geološke događaje. Geološki događaji korišteni u GPM 1.1 podijeljeni su u pet grupa s vjerojatnostima:  $p = 1$  za sigurne,  $p = 0,75$  vrlo vjerojatne,  $p = 0,5$  vjerojatne,  $p = 0,25$  malo vjerojatne i  $p = 0,05$  za vrlo malo vjerojatne događaje. Prilikom računanja, geološke vjerojatnosti za polje Ika u „Geo Probe Modeling

1.1“-u, radi što uvjerljivijeg i boljeg simuliranja uvjeta na području Sjevernog Jadrana su prilagođene geološkim uvjetima (kategorijama i događajima) tog prostora.

Kategorija „Zamka“ dijeli se na potkategorije „Strukturna“, „Stratigrafska ili kombinirana“ i „Kvaliteta krovinske stijene“. Unutar podkategorije „Strukturna“ odabiru se, ovisno o geološkim karakteristikama, događaji „Antiklinala i 'burried hill“, „Rasjednuta antiklinala“, „Strukturni nos zatvoren rasjedom“, „Bilo koja pozitivna rasjednuta struktura, granice nisu definirane“ i „Neodređeni strukturni okvir“. Unutar podkategorije „Stratigrafska ili kombinirana“ odabiru se događaji „Algni greben“, „Isklinjeni pješčenjaci“, „Sedimenti promjenjeni dijagenezom“, „Nagle promjene petrofizičkih značajki (gline, drugačiji facijes)“ i „Nedefinirani stratigrafski okvir“. Podkategorija „Kvaliteta krovinske stijene“ sadrži događaje: „Regionalno dokazana krovinska stijena“, „Stijene bez ležišnih značajki“, „Stijene propusne za plin (curenje plina)“, „Propusne stijene s lokalno povišenim udjelom silta / gline“, „Nedefinirana krovinska stijena“. Kategorija „Ležište“ opisuje se podkategorijama „Vrsta ležišta“ i „Značajke šupljikavosti“. Podkategorija „Vrsta ležišta“ sadrži događaje: „Pješčenjaci, čisti i bočno prošireni“, „Podinske stijene, gnajs, granit, gabro“, „Dolomiti sa sekundarnom šupljikavošću“, „Algni greben sa značajnom sekundarnom šupljikavosti, zbog *karstinga* ili drugog procesa pod utjecajem atmosferilija“, „Pješčenjaci, bogati siltom i glinom“, „Podinske stijene sa sekundarnom šupljikavosti, ograničene u prostiranju“, „Algni grebeni ispunjeni sa skeletnim krhotinama, muljem i marinskim cementom“, „Pješčenjaci koji sadrže značajan udio gline / silta, ograničenog prostiranja“, „Podinske stijene koje imaju nisku sekundarnu poroznost, ograničenog prostiranja“ i „Neodređena ležišna stijena“. Podkategoriji „Značajke šupljikavosti“ odgovaraju događaji koji opisuju prvotnu i drugotnu šupljikavost te događaji koje označavaju vrijednost propusnosti i neodređenu vrijednost šupljikavosti. Kategorija „Matična stijena“ sadrži potkategorije „Izvorišni facijes“, „Zrelost“ i „Izvor podataka“. Podkategorija „Izvorišni facijes“ opisuje se događajima: „Kerogen Tip I ili II“, „Kerogen Tip III“, „Poželjni paleofacijes taložene organske tvar“, „Regionalno poznati facijes matične stijene, ali nije dokazan na promatranoj lokaciji“, „Neodređeni tip matične stijene“. Unutar podkategorije „Zrelost“ odabiru se događaji ovisno o tome jesu li sedimenti u fazi kasne dijageneze, katageneze, rane katageneze ili metageneze, ili se radi o događaju „Neodređena zrelost“. Unutar podkategorije „Izvor podataka“ odabire se način pridobivanja podataka, a najčešće su to geokemijske analize ili toplinska modeliranja. Kategorija „Migracija“ sadrži potkategorije „Pojava CH“, „Položaj zamke“ i „Vrijeme“. Unutar podkategorije „Pojava CH“ odabiru se događaji ovisno o tome radi li se o „Proizvodnji CH, „CH u tragovima“, „Pojava plina >10 %“ ili se pak radi o nafti ili tragovima nafte u jezgrama

koji su određeni luminiscentnom analizom. Ako nema CH, odabire se događaj „Nema CH“. Unutar podkategorije „Položaj zamke“, odabiru se događaji ovisno o tome kakav je položaj kolektora naspram matične stijene, odnosno koliki su migracijski putovi. Događaji „Zamka je starija od matične stijene“, „Zamka je mlađa od matične stijene i „Povezanost između zamke i matične stijene je nepoznata“ odabiru se unutar podkategorije „Vrijeme“. Kategorija „Očuvanje CH“ opisana je podkategorijama: „Ležišni tlak“ i „Formacijske vode“. Događaji unutar podkategorije „Ležišni tlak“ jesu: „Veći od hidrostatskog“, „Kao hidrostatski“ i „Manji od hidrostatskog“. Podkategoriji „Formacijske vode“ pridružuju se događaji koji opisuju aktivne ili neaktivne vodonosnike, odnosno da li je voda unutar ležišta došla iz površine ili iz okolnih formacija.

Vrijednost vjerojatnosti kategorije 'Zamka' je 1, jer se radi o strukturnoj zamki s dokazanom krovinskom stijenom. Unutar kategorije „Ležište“ korišteni su događaji: „Dolomiti s drugotnom šupljikavosti“ i „Drugotna šupljikavost“ 1 - 5 %. Vrijednost vjerojatnosti kategorije „Ležište“ je 0,75 (p = 0,75). Podkategorije (događaji) korištene za kategoriju „Matična stijena“ su: „Izvorišni facijes“ („Kerogen tipa III“), „Zrelost“ („Sedimenti su u metagenetskoj fazi“) i „Izvor podataka“ („Geokemijske analize na jezgrama i fluidima“), a vjerojatnost kategorije „Matična stijena“ je 0,5265 (p = 0,5265). Kategorija „Migracija“ je opisana podkategorijama (događajima): „Pojave ugljikovodika“ („Proizvodnja ugljikovodika“), „Položaj zamke“ („Dugi migracijski put, > 10 km“) i „Vrijeme“ („Zamka je mlađa od matične stijene“). Vjerojatnost kategorije „Migracija“ dobije se množenjem vjerojatnosti (nezavisnih) događaja koji ju opisuju, a iznosi 0,1875. Kategorija „Očuvanje ugljikovodika“ s podkategorijama i događajima „Ležišni tlak“ („Veći nego hidrostatski“) i „Formacijske vode“ („Mirni vodonosnik“) daje vjerojatnost 1 (p = 1). Računanje se završava kada se pomnože vrijednosti vjerojatnosti pet kategorija. Svaki rezultat vjerojatnosti kategorija dobiven je kao približno simuliranje uvjeta u Sjevernom Jadranu pomoću potkategorija i događaja s pridruženim vrijednostima vjerojatnosti pojedinih događaja. Na temelju gornjih odabira konačni račun je prikazan izrazom 5-2.:

$$\begin{aligned}
 IZGL &= p(z) \times p(l) \times p(m) \times p(ms) \times p(oCH) & (5-2.) \\
 &= 1 \times 0,75 \times 0,5625 \times 0,1875 \times 1 \\
 &= 0,0791 \\
 &= 7,91 \%
 \end{aligned}$$

gdje su: p(z) – zamka

p(l) – ležište  
p(m) – migracija  
p(ms) – matična stijena i  
p(oCH) – očuvanje ugljikovodika.

Tako geološka vjerojatnost, prema programu „GeoProbe Modeling 1.1“, koji je izravno prenesen s modelom za HPBS, za pronalazak dodatnih ležišta plina u pleistocenskim pješčanim ležištima u širim zonama polja Ika iznosi 7,91 %. Međutim takav račun ima očiti nedostatak da neki geološki događaji odgovaraju klastičnim taložinama jezerskog okoliša HPBS-a, što ne odgovara taložnoj povijesti Sjevernog Jadrana, posebice karbonatnih naslaga. Stoga se pristupilo izmjeni i prilagodbi izvorne metodologije geološkim uvjetima Sjevernog Jadrana što je opisano u sljedećim potpoglavljima.

#### 5.2.1. Primjena prilagođenoga POS-a za moguće nova karbonatna ležišta šire zone polja Ika

Vrijednosti vjerojatnosti događaja koje variraju od 0 do 1 načinjene su deterministički, odnosno njihove vrijednosti su procijenjene na temelju učestalosti pojavljivanja određenog tipa zamki, ležišta, matičnih stijena, migracije, na području hrvatskog dijela Padske depresije. Za izračun geološke vjerojatnosti pojave plina u karbonatima u kategoriji „Zamka“ korišteni događaji unutar potkategorije „Struktura“ su: „Antiklinala“ ili „buried hill“, „Rasjednuta antiklinala ili razlomljena stijena“ i „Neodređena strukturna zamka“. Unutar podkategorije „Stratigrafska ili kombinirana“ događaji su: „Stijene ispod diskordancije“, jer se radi o ležištu ispod diskordancije i „Neodređena stratigrafska zamka“. Kod podkategorije „Kvaliteta krovinske stijene“ prvi put je korištena podjela vjerojatnosti - 1; 0,66; 0,33; a podjela je temeljena tako da jedan od tri događaja („Glinoviti siltovi i gline s manjim udjelom pijeska i silta“, „Glinoviti siltovi i gline s većim udjelom pijeska i silta“ i „Nepropusna stijena“) ima naravno vrijednost 1, a ostale dvije onda vrijednosti 0,66 i 0,33 radi što preciznijeg izračuna. Ako se radi o četiri događaja, podjela vrijednosti vjerojatnosti bi bila: 1; 0,75; 0,5; i 0,25. Kategorija „Ležište“ opisana je podkategorijama: „Vrsta ležišne stijene“ i „Poroznost“. Potkategorija „Vrsta ležišne stijene“ opisana je događajima koji opisuju o kakvoj se vrsti karbonata radi, a unutar potkategorije „Šupljikavost“ odabiru se događaji ovisno o tome radi li se o prvotnoj ili drugotnoj šupljikavosti. Kategorija „Matična stijena“ sadrži podkategorije „Izvorišni facijes“ s događajem „Taloženje pretežito kopnene organske tvari naknadno



razgrađene djelovanjem bakterija“ koji je prilagođen radi već spomenute migracije plina na područje hrvatskog dijela Sjevernog Jadrana iz talijanskog dijela Padske depresije. U podkategoriji „Izvor podataka“ izabiru se događaji ovisno o tome jesu li podatci dobiveni geokemijskim analizama ili toplinskim modeliranjem. Kategorija „Migracija“ sadrži podkategorije „Pojave CH“, „Položaj zamke“ i „Vrijeme“. Podkategorija „Pojave CH“ opisana je dvama događajima ovisno o tome postoje li ili ne postoje ugljikovodici. Podkategorija „Položaj zamke“ opisana je događajima ovisno o tome o kakvoj je migracijskoj udaljenosti riječ. Podkategorija „Vrijeme“ opisana je događajima „Zamka je mlađa od matičnih stijena“ i „Zamka je starija od zrelih matičnih stijena“. Kategorija „Očuvanje CH“ je za razliku kod GPM 1.1 ostavljena s podkategorijom „Ležišni tlak“. Podkategorija „Formacijske vode“ opisana je događajima „Aktivni vodonosnik“ i „Mirni vodonosnik“. „Ležišni tlak“ se odabire ovisno je li veći, jednak ili manji od hidrostatskog.

Broj geoloških događaja unutar podkategorija je smanjen, a vrijednosti vjerojatnosti su većim dijelom pridružene na sljedeći način:  $p = 1$  za sigurne,  $p = 0,66$  za pouzdane i  $p = 0,33$  za nepouzdanе događaje ili s vrijednostima  $p = 1$  za sigurne i  $p = 0,5$  za srednje pouzdane događaje. Kod „Excela“ konačni izračun „POS“-a se razlikuje ovisno o tome računamo li vjerojatnost pojavljivanja plina u pijescima ili karbonatima, a samo računanje je jednako onom u programu „GPM 1.1“, odnosno vrijednosti vjerojatnosti za određenu kategoriju se dobiju množenjem vrijednosti vjerojatnosti odabranih događaja unutar podkategorija, a zatim se geološki rizik izračunava množenjem vjerojatnosti dobivenih za sve kategorije.

Promjene u „Excel POS“ tablicama su uzrokovane drugačijim uvjetima u podmorju Sjevernog Jadrana. Zamke su uglavnom rasjednute antiklinale, raspucane stijene te pješčane leće i blage antiklinale. Podkategorija koja opisuje krovinske stijene također je izmijenjena, jer u Sjevernom Jadranu krovinu čine pijesci sa povećanim udjelom silta ili gline koji su bočno rasprostranjeni i recentni sedimenti. Kategorija „Ležište“ je opisana istim događajima kao kod GPM 1.1, ali došlo je do promjena u vrstama ležišnih stijena te promjena šupljikavosti koja je smanjena u odnosu na GPM 1.1. U opisu kategorije „Matična stijena“ nema potkategorije „Maturity“ odnosno „Zrelost“ sa događajima („late diagenesis“, „early catagenesis“ „catagenesis phase“, „metagenesis phase“) jer se radi o biogenom plinu, najvećim dijelom stvorenom u talijanskom dijelu depresije. Dodan je novi geološki događaj „Taloženje pretežito kopnene organske tvari naknadno razgrađene djelovanjem bakterija“ kako bi se uzele u obzir velike količine kopnene organske tvari koju su rijeke prikupljale u svome porječju koje počinje u Alpama i taložile u Sjevernom Jadranu tijekom pleistocena. Kategorija „Migracija“ ostala je približno ista te su zadržane podkategorije kao kod GPM 1.1.

Događaji u podkategorijama unutar kategorije „Migracija“ su izmijenjeni naspram GPM 1.1. Podkategorija „Pojave CH“ opisana je događajima „Proizvodnja CH“ i „Nema CH“. Podkategorija „Položaj zamke“ opisana je događajima „Zamka se nalazi u dokazanoj migracijskoj udaljenosti“, „Kratki migracijski put  $< / = 10$  km“, „Dugi migracijski put  $> 10$  km“ i „Neodređena migracijska udaljenost“. Kategorija „Očuvanje CH“ opisana je podkategorijama „Ležišni tlak“ i „Formacijske vode“ s pridruženim vjerojatnosnim događajima.

Dobivena vjerojatnost množenjem vjerojatnosti događaja „Antiklinala ili "buried hill"“, i „Pijesci sa smanjenim udjelom silta ili gline“ unutar kategorije „Zamka“ je 1. Unutar kategorije „Ležište“ uzeti su događaji „Raspucani i/ili otopljeni karbonati“ i „Drugotna šupljikavost 1 - 5 %“. Vjerojatnost kategorije „Ležište“ iznosi  $p = 0,75$ . Unutar kategorije „Matične stijene“ i pridruženih podkategorija, uzeti su događaji „Taloženje pretežito organske tvari naknadno izmijenjene djelovanjem bakterija“. Množenjem vjerojatnosti tog događaja s vjerojatnošću događaja „Geokem. analize na jezgrama“ dobije se vjerojatnost za kategoriju „Matične stijene“  $p = 1$ . Kategorija „Migracija“ s događajima „Proizvodnja ugljikovodika“, „Dugi migracijski put  $> 10$  km“ i „Zamka je mlađa od zrelih matičnih stijena“ daje vjerojatnost  $p = 0,33$ . Unutar kategorije „Ležišni tlak“ uzima se jedan od ponuđenih događaja ovisno o tome je li ležišni tlak veći, jednak ili manji od hidrostatskog. Ovdje je uzeto da je ležišni tlak veći nego hidrostatski što daje vjerojatnost  $p = 1$ . Množenjem vjerojatnosti tog događaja s vjerojatnošću događaja „Mirni vodonosnik“ dobivena je vjerojatnost  $p = 1$ . Račun je prikazan izrazom 5-3.

$$\begin{aligned}
 IZGL &= p(z) \times p(l) \times p(ms) \times p(m) \times p(oCH) & (5-3.) \\
 &= 1 \times 0,75 \times 1 \times 0,33 \times 1 \\
 &= 0,2475 \\
 &= 24,75 \%
 \end{aligned}$$

gdje su:

- $p(z)$  - zamka
- $p(l)$  - ležište
- $p(ms)$  – matična stijena
- $p(m)$  - migracija
- $p(oCH)$  – očuvanje CH.

Vrijednost geološke vjerojatnosti pojave plina za karbonate polja Ika iznosi 33 %, a prikaz vrijednosti kategorija, podkategorija i odgovarajućih događaja učinjen je u **tablici 5-2**.



**Tablica 5-2.** Prikaz kategorija, podkategorija i događaja u Exelu korištenih za područje plinskog polja Ika, kao model izračuna geološkog rizika u karbonatima Sjevernog Jadrana

[illegible]

### 5.2.2. Primjena prilagođenoga POS -a za moguća nova pješčana ležišta u Sjevernom Jadranu, s modelom razvijenim u polju Ika

Unutar excel tablice koja je slična prethodnoj **tablici 5.2.**, ali prilagođena za pješčenjačka ležišta, za izračun geološke vjerojatnosti korištene su iste kategorije s podkategorijama i odgovarajućim događajima. Unutar kategorije „Zamka“ korišteni su događaj „Antiklinala ili brahiantiklinala“ i događaj „Recentni sedimenti“ unutar podkategorije „Kvaliteta krovinske stijene“. Dobivena vjerojatnost kategorije „Zamka“ iznosi  $p = 1$ . Unutar kategorije „Ležište“ korišten je događaj „Pijesci s manjim udjelom gline ili silta“ i događaj „Primarna šupljikavost  $> 25 \%$ “ unutar podkategorije „Šupljikavost“. Dobivena vrijednost vjerojatnosti je 1. Ostale kategorije s odgovarajućim događajima i njihovim vjerojatnostima iste su kao kod karbonata, a izračun geološke vjerojatnosti je prikazan izrazom 5-4.:

$$\begin{aligned} IZGL &= p(z) \times p(l) \times p(ms) \times p(m) \times p(oCH) & (5-4.) \\ &= 1 \times 1 \times 1 \times 0,33 \times 1 \\ &= 0,33 \\ &= 33 \% \end{aligned}$$

gdje su:

- $p(z)$  – zamka,
- $p(l)$  – ležište
- $p(ms)$  – matična stijena
- $p(m)$  – migracija
- $p(oCH)$  – očuvanje ugljikovodika.

Vrijednost geološke vjerojatnosti pojave ugljikovodika za pješčana ležišta polja Ika iznosi 33 %. Vrijednosti korištene za izračun geološke vjerojatnosti unutar pijesaka nalaze se u **tablici 5-3.**

**Tablica 5-3.** Prikaz kategorija, podkategorija i događaja i Excelu korištenih za područje plinskog polja Ika kao model izračuna geološkog rizika u pijescima Sjevernog Jadrana

ZAMKA	p	LEŽIŠTE	p	MATIČNA STIJENA	p	MIGRACIJA	p	OČUVANJE UGLJIKOVODIKA	p
Postavi zamku		Vrsta ležišne stijene		Izvorišni facijes		Pojavljivanje ugljikovodika		Ležišni tlak	
Strukturna	1	Pijesci s manjim udjelom glinovite ili silne komponente	1	Taloženje pretežito organske tvari, naknadno razgrađena bakterijama	1	Proizvodnja ugljikovodika	1	Veći nego hidrostatski	1
Stratigrafska ili kombinirana	1	Pijesci s većim udjelom glinovite ili silne komponente	0,5			Nema ugljikovodika	0,05	Približno kao hidrostatski	0,66
		Neodređena ležišna stijena	0,05	Izvor podataka				Manji od hidrostatskog	0,33
Strukturna				Geokemijske analize na jezgrama	1	Položaj zamke		Neodređeni hidrostatski tlak	0,05
Antiklinala ili branhiantiklinala	1	Šupljikavost		Na temelju okolnih geokem. analiza	0,75	Zamka se nalazi u dokazanoj migracijskoj udaljenosti	1		
Rasjednuta antiklinala	1	Prvotna šupljikavost >25%	1	Toplinsko modeliranje i računanje	0,5	Kratki migracijski put <10 km	0,66	Formacijske vode	
Neodređena strukturna zamka	0,05	Drugotna šupljikavost >10%	1	Toplinsko modeliranje na nekoliko lokacija	0,25	Dugi migracijski put >10 km	0,33	Mirni vodonosnik	1
		Prvotna šupljikavost 10%-25%	0,75	Neodređeni izvor podataka	0,05	Neodređena migracijska udaljenost	0,05	Aktivni vodonosnik	0,5
Stratigrafska ili kombinirana		Drugotna šupljikavost 5%-10%	0,75						
Lečaste zamke okružena nepropusnim stijenama	1	Prvotna šupljikavost <10%	0,5			Vrijeme			
Isklinjavanje pijesaka u smjeru uzgona	0,66	Drugotna šupljikavost <5%	0,5			Zamka je mlađa od zrelih matičnih stijena	1		
Isklinjena i rasjednuta zamka u smjeru uzgona	0,33	Propusnost $<1 \times 10^{*-3} \mu\text{m}^{*2}$	0,25			Zamka je starija od zrelih matičnih stijena	0,05		
Neodređena stratigrafska zamka	0,05	Neodređena vrijednost šupljikavosti	0,05						
Kvaliteta krovinske stijene									
Recentni sedimenti	1								
Glinoviti lapori	0,5								
Neodređena krovinska stijena	0,05								

### 5.3. Geološke podkategorije s najvećim promjenama vrijednosti u izračunu POS –a unutar karbonatne platforme i klastičnih naslaga u Sjevernom Jadranu

Kao što je već spomenuto, geološka vjerojatnost procjenjuje se na temelju sljedećih pet kategorija: vjerojatnost zamke, vjerojatnost ležišta, vjerojatnost matične stijene, vjerojatnost migracije i vjerojatnost očuvanja ugljikovodika. Tablice vjerojatnosti koje su izvedene u svrhu ovog diplomskog rada napravljene su tako da potkategorije odnosno događaji mogu imati jednu od vrijednosti koja odgovara nekom području ili lokalitetu. Vjerojatnosti su predstavljene opisom i određenim vrijednostima koje su prikazane u prethodnim poglavljima. Unutar tablica vjerojatnosti, događajima se pridružuju vrijednosti ovisno o tome radi li se o više ili manje događaja unutar potkategorija (npr. 3 događaja,  $p = 1$ ,  $p = 0,66$ ,  $p = 0,33$ ; ili 5 događaja,  $p = 1$ ,  $p = 0,75$ ,  $p = 0,5$ ,  $p = 0,25$ ,  $p = 0,05$ ). Takva podjela je učinjena radi što točnijeg proračuna geološkog rizika.

Najveće promjene vrijednosti moguće su u kategoriji „Ležište“, jer se šupljikavost i propusnost jako mijenjaju okomito i bočno u ležištu. Dok je pijesak na malim dubinama, započinju mehanički i kemijski procesi. Pješčana zrna neposredno nakon taloženja su dobro sortirana i kao takva imaju šupljikavost do 40 % koja se smanjuje pod utjecajem kompakcije kako je dubina zalijeganja pijesaka sve veća. Povećani tlak na većim dubinama uzrokuje deformacije sedimenata i zbijanje. Tlačno otapanje i porast temperature uzrokuju izlučivanje cementa odnosno topivost i prijelaz u druge minerale što uzrokuje smanjenje šupljikavosti (VELIĆ, 2007).

Kod karbonata je često otapanje ili disolucija što dovodi do porasta šupljikavosti i propusnosti. Dolomitizacijom se može povećati poroznost uslijed nastanka većih šupljina, ali se može i smanjiti zbog rasta kristala dolomita. Rekristalizacija također uzrokuje porast šupljikavosti i propusnosti, a cementacija ih smanjuje (VELIĆ, 2007). Ako se stijena sastoji od velikih plosnatih zrna koji su orijentirani paralelno najdužoj osi, vertikalna i bočna propusnost će biti velika odnosno srednja do velika. Stijenu koja je sastavljena od krupnih i jednako zaobljenih zrna karakterizira velika bočna i okomita propusnost. Propusnost je manja u vertikalnom smjeru ukoliko su klasti sitni i nepravilnog oblika. Prisutnost glina također je velika prepreka okomitij propusnosti. Kod otvorenih okomitih pukotina ili šupljina nastalih otapanjem ili tektonikom, ako su pukotine ispunjene glinom predstavljaju prepreku vodoravnoj migraciji. Utjecaj gline ovisi o njenom mineralnom sastavu i reakciji s fluidom što na kraju uzrokuje smanjenje propusnosti. Kada su klastična tijela položena unutar glinovito – laporovitih slojeva, vapnenaca i dolomita te kada se nalaze u blizini aktivnih rasjeda, pucanje

je uzročnik sekundarne šupljikavosti (**VELIĆ, 2007**). Boranjem stijenskih tijela koja se nalaze u vrhu strukture, stvaraju se pukotine te se povećava šupljikavost i propusnost unutar tog dijela strukture. Za bočne dijelove strukture karakteristična je manja šupljikavost i propusnost.

Poznato je da su karbonati podložni otapanju, odnosno djelovanju kiselih i podzemnih voda, pa se propusnost povećava, uz izjednačavanje vrijednosti za okomitu i vodoravnu propusnost (**VELIĆ, 2007**).

## 6. DISKUSIJA O REZULTATIMA I METODOLOGIJI

Cilj ovoga bila je procjena pretpostavke o vjerojatnosti pronalaska novih rezervi ugljikovodika u pleistocenskim rahlim pijescima i karbonatnim stijenama na području Sjevernog Jadrana metodom geološke vjerojatnosti. Plinsko polje Ika je ogledno polje kako bi se ispitala i razvila metodologija. Kao podloga proračunu korišteni su program „GeoProbe Modeling 1.1“ programiran za područje Panonskog bazena i „Excel“ u kojem je napravljena tablica po uzoru na program spomenuti program i modificirana za geološke događaje na području plinskog polja Ika. Glavni problem s kojim sam se susreo bio je nepostojanje definiranih matičnih stijena u hrvatskom dijelu Sjevernog Jadrana kako je to učinjeno za Panonski bazen. Naime, oko 20 % plina stvoreno je in situ, a ostatak je migrirao (migracijski putovi od 10 – 30 km) iz talijanskog dijela Padske depresije. Zbog toga je kategorija „Matična stijena“ svedena na podkategorije „Izvorišni facijes“ i „Izvor podataka“ s pridruženim vjerojatnosnim događajima. Važne modifikacije se odnose na podkategoriju „Strukturna“ unutar kategorije „Zamka“ te je prilagođena geološkim odnosima koji su karakteristični za Sjeverni Jadran. Unutar podkategorije „Šupljikavost“ promijenjene su vrijednosti za karbonate jer se radi o zbijenim, slabije propusnim stijenama. Vrijednosti podkategorije „Šupljikavost“ za pijeske u polju Ika su povećani u odnosu na program GPM 1.1, jer se radi o vrijednostima šupljikavosti od oko 30 % u pješčanim ležištima. Unutar kategorije „Migracija“, najbitnije je naglasiti da je u odnosu na GPM 1.1 modificiran događaj „Zamka je mlađa od matične stijene“ i pridružena joj je vjerojatnost  $p = 1$  jer u suprotnom, da je zamka starija od matične stijene, ne bi moglo doći do nakupljanja plina. Kasnije je uporabom „Excel“ tablica vjerojatnosti (**tablica 5-2.** i **tablica 5-3.**) metodom "IZGL" načinjen proračun za vjerojatnosti pojave plina u pleistocenskim pijescima i mezozojskim karbonatima. U takvim proračunima na temelju klasifikacije geoloških kategorija i događaja, svakoj od zona pripisana je vrijednost dobivena umnoškom svih pojedinih vrijednosti naznačenih uz te kategorije.

Rezultati su pokazali da za šire područje plinskog polja Ika, vjerojatnost pronalaska plina u karbonatima iznosi 0,2475, odnosno 24,75 %, a u pješčanim ležištima 0,33 odnosno 33 %. Što se tiče rezultata dobivenih programom GPM 1.1 koji je, kao što je rečeno programiran za HPBS, dobivena je vrijednost 0,791 odnosno 7,91 %.

Svi podatci u ovome radu napisani su na temelju stručne literature preporučene od strane mentora i preuzeti iz knjižnice fakulteta ili sa stranica Hrvatske znanstvene bibliografije te čine ovaj rad vjerodostojnim.

## 7. ZAKLJUČAK

Na temelju procjene geoloških kategorija, proračuna geološkog rizika te dosadašnjih otkrića dobivenih istraživanjima na području Sjevernog Jadrana može se zaključiti da postojeća ležišta u pleistocenskim pijescima i karbonatima, sa svojim ležišnim karakteristikama, predstavljaju naftni i plinski potencijal polja Ika i ostatka Sjevernog Jadrana. Dobivene vrijednosti, 24,75 % za karbonate i 33 % za pješčana ležišta, dovoljno su velike da se nastavi istraživanje i nastavi bušenje s pozitivnim ishodom odnosno pronalaskom ugljikovodika. Također, bitno je istaknuti prilagodbu kategorije „Matična stijena“ s odgovarajućim vjerojatnosnim događajem, jer se radi o migriranom plinu (migracijski put od 10 do 30 km), odnosno matične stijene se nalaze uglavnom u talijanskom dijelu Padske depresije. Podatci u tablicama geološke vjerojatnosti ukazuju na sigurnost da je mjerenja smisleno napraviti i pomoću bušenja dokazati nove rezerve plina te mogu koristiti kao početni korak pri izradbi novijih i točnijih tablica za izračun geološke vjerojatnosti za analizirana polja, ali i cijeli Sjeverni Jadran. Općenito kada se bilo gdje u svijetu istražuju ugljikovodici, ovakvi rezultati smatraju se vrlo visokim vrijednostima i svaka će tvrtka, čak i manja, preuzeti rizik, jer to znači da će u dva bušenja vjerojatno doći do otkrića. Rezultati jesu dovoljno velike brojke da bi opravdale daljnja istraživanja i bušenja u Sjevernom Jadranu. Samo treba donijeti odluku i preuzeti rizik od 60 % - 70 % za "suhe bušotine", što je uostalom sastavni dio posla kod istraživanja. Sve razine uprave jesu postavljene i izmišljene da stanu iza takvih stvari i preuzmu svoju odgovornost.



## 8. LITERATURA

BARIĆ, G. (2006): *Naftna geokemija*. INA-industrija nafte i Kigen d.o.o., Zagreb, 254 str.

BOŽIKOV, A. (2008): *Mare Nostrum*, Jadranski godišnjak, ABEL, Split. 62 str.

CORREGGIARI, A., ROVERI, M., TRINCARDI, F. (1996): Late Pleistocene and Holocene Evolution of the North Adriatic Sea, *Quaternario*, 9, 2, 697-704.

ĐUREKOVIĆ, M., JOVOVIĆ, S., KRPAN, M., JELIĆ – BALTA, J. (2002): *Ika gas field characterization and modeling*, *Nafta*, 53, (8), 273 – 282. 5. FAVRO, S., KOVAČIĆ, M. (2010) *Nautički turizam i luke nautičkog turizma*, Ogranak Matice hrvatske, Split.

FAVRO, S., KOVAČIĆ, M. (2010): *Nautički turizam i luke nautičkog turizma*, Ogranak Matice hrvatske Split, 408 str.

KRANJEC, V. (1990): *Neke promjene ocrta dubinskih geoloških struktura i njihovo naftnogeološko značenje u savsko-dravskom području i podmorju Jadrana*. Rad JAZU, 449 str.

KUČICA, M. (2013): *Zemljopisna obilježja hrvatskog jadrana u funkciji razvoja nautičkog turizma*, diplomski rad, Sveučilište u Rijeci: Pomorski fakultet, Rijeka.

MALVIĆ, T. (2003): *Naftnogeološki odnosi i vjerojatnost pronalaska novih zaliha ugljikovodika u bjelovarskoj uleknini*, doktorska disertacija, Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko–geološko–naftni fakultet, Zagreb, 123 str.

MALVIĆ, T. (2009): *Stohastički pristup u determinističkom izračunu geološkoga rizika – teorija i primjer*, *Nafta*, 60, 12, 658 – 662.

MALVIĆ, T., ĐUREKOVIĆ, M., ŠIKONJA, Ž., ČOGELJA, Z., ILIJAŠ, T., KRULJAC, I. (2011): *Istraživačke i proizvodne aktivnosti u Sjevernom Jadranu (Hrvatska) kao primjer uspješnog zajedničkog ulaganja Ine (Hrvatska) i ENI-ja (Italija)*, *Nafta*, 62 (9-10), 293 – 296.

MALVIĆ, T., VELIĆ, J. (2015): *Stochastically improved methodology for probability of success ('POS') calculation in hydrocarbon systems*, *RMZ - Materials and geoenvironment*, 62, 3, 149 – 155. (na engleskom)

MALVIĆ, T., ĐUREKOVIĆ, M., RUSAN, I. (2006): *Vjerojatnosni razredi i geološki događaji u izračunu geološke vjerojatnosti // New Approaches and Methods in Evaluating Hydrocarbon Reserves / Programski izbor (ur.).* Zagreb: HAZU, RGNF, INA, 2006. 25-26.

MALVIĆ, T., VELIĆ, J., CVETKOVIĆ, M., VEKIĆ, M., ŠAPINA, M. (2015): *Određivanje novih pliocenskih, pleistocenskih i holocenskih litostratigrafskih jedinica u hrvatskom dijelu Jadrana (priobalju),* Geoadria, 20/2, 85 – 108.

OSTOJČIĆ, K. (2010): *Naftogeološke značajke hrvatskih plinskih polja u sjevernom Jadranu,* Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu: Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb, 49 str.

PAVIĆ, N. (2007): *Petrofizičke značajke ležišnih stijena plinskih polja u Sjevernom Jadranu,* Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu: Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb, 41 str.

PENZAR, B. (2001): *Vrijeme i klima hrvatskog Jadrana,* Nakladna kuća „dr. Feletar“, Hrvatski hidrografski institut, Split15. PRELOGOVIĆ, E., KRANJEC, V. (1983) *Geološki razvitak područja Jadranskog mora,* Rijeka: Pomorski zbornik, 21, 387-405.

RIĐANOVIĆ, J. (1989): *Hidrogeografija,* Školska knjiga, Zagreb, 221 str.

RIĐANOVIĆ, J. (2002): *Geografija mora, Hrvatski zemljopis,* Nakladna kuća „dr. Feletar“, Zagreb, 50 str.

STRAŽIČIĆ, N. (1989): *Pomorska geografija Jugoslavije,* Školska knjiga, Zagreb, 311 str.

TIŠLJAR, J. (1994): *Sedimentne stijene,* Školska knjiga, Zagreb, 422 str

VEKIĆ, M. (2014): *Mogući ugljikovodični potencijal pliocensko - pleistocenskih naslaga u Hrvatskom podmorju Jadrana,* završni rad - preddiplomski studij, Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb, 27 str.

VELIĆ, J. (2007): *Geologija ležišta nafte i plina.* Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko - geološko – naftni fakultet, Zagreb, 342 str.

VELIĆ, J., MALVIĆ, T. (2011): *Depositional conditions during Pliocene and Pleistocene in Northern Adriatic and possible lithostratigraphic division of these rocks,* Nafta, 62, 1 – 6.

VELIĆ, J., MALVIĆ, M., CVETKOVIĆ, M., VELIĆ, I. (2015): *Stratigraphy and petroleum geology of the Croatian part of the Adriatic basin*, Journal of Petroleum Geology, Vol 38 (3), July, 281 – 300.

VLAHOVIĆ, I., TIŠLJAR, J., VELIĆ, I., MATIČEC, D. (2005): *Evolution of the Adriatic Carbonate Platform: Palaeogeography main events and depositional dynamics*, Palaeogeography, palaeoclimatology, palaeoecology 220 (2005), 3 - 4, 333 - 360.

#### **WEB izvori:**

<http://www.glasistre.hr/vijesti/hrvatska/stern-pretjerane-price-o-nafti-u-jadranu-444781>, (04.IV.2016., 15:30)

[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Adriatic\\_Sea\\_map\\_hr.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Adriatic_Sea_map_hr.svg), (01.II.2016., 9:00)

<http://istrapedia.hr/hrv/1333/klima/istra-a-z/>, (31.I.2016., 13:00)

<http://www.braneweb.net/more.html>, (31.I.2016., 14:00)

[http://en.wikipedia.org/wiki/File:Adriatic\\_Sea\\_Bathymetry.svg](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Adriatic_Sea_Bathymetry.svg), (03.II.2016., 15:00)

<http://www.hgi-cgs.hr/2dsnimanja.html>, (15.IV.2016., 20:00)

[http://www.mingo.hr/public/energetika/Okvirni%20plan\\_%20i%20program\\_%20istrazivanja\\_%20i\\_%20eksploatacije\\_%20ugljikovodika\\_%20na\\_%20Jadranu\\_.pdf](http://www.mingo.hr/public/energetika/Okvirni%20plan_%20i%20program_%20istrazivanja_%20i_%20eksploatacije_%20ugljikovodika_%20na_%20Jadranu_.pdf), (02.II.2016., 12:00)